This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

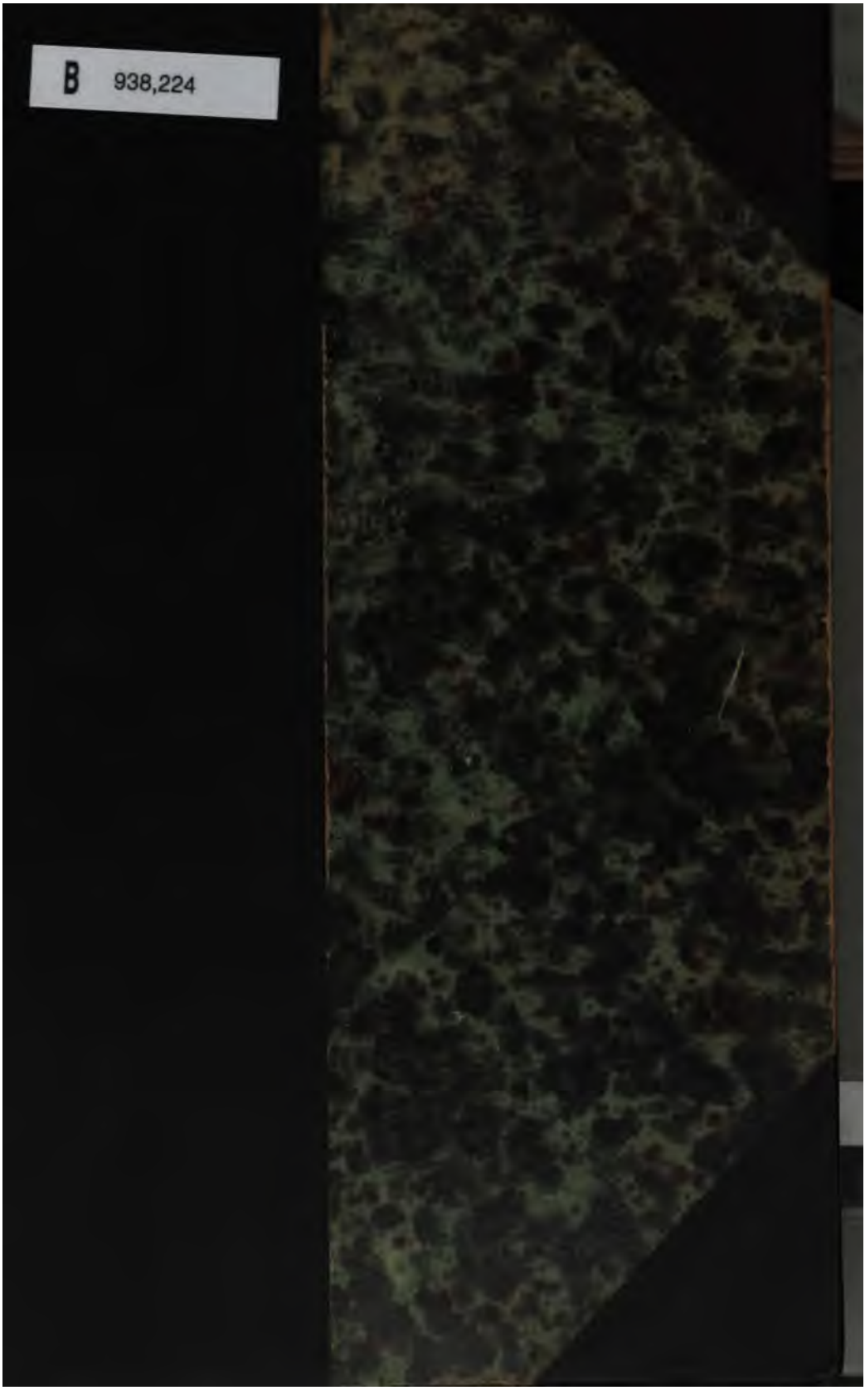
+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

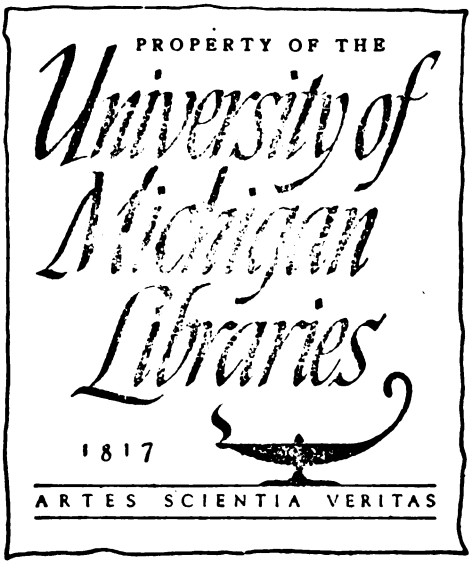
+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

B 938,224




PROPERTY OF THE
University of Michigan Libraries
1817
ARTES SCIENTIA VERITAS

QC
53
.H59

Der

physikalische Apparat.

Anschaffung, Behandlung und Gebrauch desselben.

Für Lehrer und Freunde der Physik.

Von

Dr. Jacob Heussi,

Conrector am Großherzogl. Friedrich-Franz-Gymnasium in Parchim.

Mit 610 in den Text gedruckten Holzschnitten
(aus dem Atelier von Emil Hene in Leipzig).

Leipzig,
Verlag von Paul Frohberg.
1875.

Ueberſetzungsrecht vorbehalten!

Die Verlagshandlung.

Vorrede.

Daß naturwiſſenſchaftliche Kenntniſſe nur durch Beobachtung und Verſuche gewonnen werden können, braucht heut zu Tage nicht mehr bewieſen zu werden; Jeder weiß es und giebt es zu. Das Beobachten und Experimentiren iſt aber eine Kunſt, die man nicht mit auf die Welt bringt, ſie will durch Studium und Uebung erlernt ſein. Uebung im Experimentiren ſich anzueignen hat aber, beſonders in der Phyſik, ſeine nicht geringen Schwierigkeiten, weil ſich nur ſchwer eine Gelegenheit findet, Inſtrumente in die Hände zu bekommen. Daß der angehende Phyſiker, oder der künftige Lehrer der Phyſik ſie ſich in der Regel nicht ſelbſt anſchaffen kann, iſt ſelbſtverſtändlich, da nur Wenigen die dazu nöthigen Mittel geboten ſind. In der Chemie z. B. macht ſich die Sache viel leichter; da erhält der Studirende Alles geliefert, was zur Anſtellung der Verſuche erforderlich iſt, wenn er beim Profeſſor der Chemie ein Repetitorium oder Privatiſſimum belegt hat; mit verhältnißmäßig geringen Hülfsmitteln laſſen ſich unzählige Verſuche anſtellen, und die Apparate ſind meiſt von ſo geringem Werth, daß es gar nicht in Betracht kommt, wenn im Laufe der Zeit dies oder jenes ſich verbraucht oder entzwei geht. Anders in der Phyſik. Faſt jeder Verſuch erfordert ein anderes Inſtrument, und manches derſelben iſt ſo beſchaffen, daß es in ungeübten Händen leicht Schaden leidet, ja ſelbſt unbrauchbar gemacht wird, womit oft ein nicht unbedeutender Werthverluſt verbunden iſt. Phyſikaliſche Repetitorien ſind daher immer theoretiſcher Natur. Praktiſches Arbeiten der Studirenden wird ſchon dadurch unmöglich, weil daſſelbe Inſtrument nicht in ſo vielen Exemplaren vorhanden ſein kann, daß alle Zuhörer gleichzeitig mit demſelben Verſuche beſchäftigt werden könnten. Theoretiſche Kenntniſſe laſſen ſich bei gehörigem Fleiß und der nöthigen Anlage wohl erwerben; praktiſches Geſchick im Experimentiren und in der ſonſtigen Behandlung der Apparate aber nur durch lange Uebung, daher meiſt erſt im Amte, wo man eine Sammlung von Inſtrumenten in die Hände bekommt; und wer dann nicht entweder eine natürliche Befähigung zu praktiſchen Arbeiten mitbringt, oder in der früheren Erziehung an ſolche Beſchäftigung gewöhnt worden, der wird manches ſchöne, koſtbare Inſtrument verderben, ehe er einen gelungenen Verſuch zu Stande bringt. Freilich, Arbeit und Anſtrengung koſtet es, ehe man zum Ziele kommt; wer die ſcheut und Alles nur mit Handſchuhen anfaßt, der bleibe lieber von Phyſik und Chemie fort; er wird es doch nie zu einer leidlichen Fertigkeit bringen.

Als Hülfsmittel, sich über diesen praktischen Theil seiner Thätigkeit zu belehren, wird der angehende Lehrer zu den bekannten Lehrbüchern seine Zuflucht nehmen müssen. Diese sind aber mehr theoretisch als praktisch; es ist kaum möglich, in ein Lehrbuch alles das aufzunehmen, was für den angehenden Physiker Bedürfniß ist; die eigentlichen Schulbücher zumal können der Beschreibung der Apparate nur wenig Raum überlassen, viel weniger noch Belehrung über Behandlung nnd Gebrauch derselben ertheilen. Die größeren Lehrbücher verfolgen meist wissenschaftliche, oder doch über den Schulkreis hinausliegende Zwecke, können deshalb manches instructive Instrument wieder nicht aufnehmen, weil es nicht zur gründlicheren Erforschung der betreffenden Erscheinung dient, sondern blos zur Darstellung der einfachsten Erscheinungsform, wie sie sich für den Anfänger eignet.

Darum dürfte ein Buch wie das vorliegende, das eine Kenntniß der Apparate und Anleitung zu ihrer Behandlung und ihrem Gebrauche zu vermitteln sich zum Ziel gesetzt hat, bei manchen angehenden Lehrern der Physik und Anderen, die sich mit physikalischen Versuchen beschäftigen wollen, sich als ein Bedürfniß herausgestellt haben. Aehnliches ist allerdings auch schon vorhanden, jedoch mit dem Nebenzweck, Anleitung zur eigenen Anfertigung von Apparaten zu geben. Dies ist von meiner Arbeit principiell ausgeschlossen, weil wenigstens dem Lehrer der Physik zur Anfertigung brauchbarer Apparate die Zeit fehlt, wenn er auch noch so viel Geschick hinzu brächte. Auch werden die nach solchen Anweisungen gefertigten Apparate so dürftig, daß sie einerseits dem Zweck, Versuche damit anzustellen, meist nicht genügen können; andererseits ist es ein großer pädagogischer Fehler, dem Schüler unsauber zusammengestoppeltes Zeug vor die Augen zu führen; der Grundsatz: maxima pueris reverentia bleibt auch heute noch in Gültigkeit. Wenn man einmal sich selbst daran machen will, Instrumente selbst anzufertigen, dann eigne man sich gleich so viel Fertigkeit in mechanischen Arbeiten an, daß man sie kunstgerecht machen kann, und nicht nöthig hat, Eisen und Messing durch zusammengeleimten Kork, Holz u. dgl. zu ersetzen. Ich glaube insofern mir hierüber ein Urtheil erlauben zu dürfen, als ich in jüngeren Jahren unter fachmännischer Anleitung vielerlei mechanische Arbeiten ausführen lernte und später, als Lehrer an einem Orte, wo zunächst eine Reihe von Jahren kein Mechanicus war, zum Nutzen der Anstalt vielfach in Ausübung brachte. Das erlangte Geschick in Handhabung der Werkzeuge ꝛc. ist mir denn beim Experimentiren sehr zu Statten gekommen. Es hat sich mir dabei aber auch unwiderleglich herausgestellt, daß ein vielbeschäftigter Lehrer wohl hie und da nachhelfen und abändern, in dieser oder jener Hinsicht verbessern kann, zur eigentlichen Anfertigung brauchbarer Apparate aber keine Zeit findet. Die vielgepriesene Aushülfe durch allerlei Handwerker ist eben so zurückzuweisen; es wird nie was rechtes daraus.

Wenn ich nun auch von der eigenen Anfertigung von Instrumenten abrathe, sollte doch jeder Physiker unter Anleitung eines Fachmannes die wesentlichsten mechanischen Arbeiten ausführen lernen, theils weil schon die Zusammenstellung der Apparate so Manches erfordert, das man selbst machen muß, theils weil man nur dadurch ein Urtheil über anzuschaffende Apparate gewinnt. Wer nie solche Arbeiten ausgeführt hat, wird kein alltäglich zu brauchendes Werkzeug richtig zu handhaben wissen und seinen Instrumenten vielen Schaden zufügen. Aus Büchern oder sonstigen Beschreibungen lassen sich aber solche Arbeiten nicht lernen. Um jedoch denen, welche die Physik nur von der theoretischen Seite kennen und in praktischen Arbeiten ungeübt sind, in Etwas zu Hülfe kommen, sind im ersten Theil die üblichsten Werkzeuge aufgezählt, wo es nöthig, mit Bemerkungen darüber begleitet und durch Zeichnungen veranschaulicht.

Eine wesentliche Rücksicht verdient das Verfahren, das man bei der Anschaffung der Apparate befolgt. Da oft falsche Wege eingeschlagen werden, habe ich auf S. 72 einen eigenen Artikel darüber aufgenommen, hätte aber freilich darin noch Manches sagen können, was, der Raumersparniß wegen, hat zurückbleiben müssen. Eines indessen muß ich hier noch nachholen, weil es bei der täglich wachsenden Hast, mit der unbedeutendere Geschäftsleute, die sogen. minores gentes, unverdientem Gewinn nachjagen, dem in solchem Verkehr noch Unerfahrenen großen Schaden bringen kann. Es giebt Werkstätten dieser Classe, welche sich besonders darauflegen, alle möglichen Apparate zu Unterrichtszwecken vorräthig zu halten und dem Publikum durch marktschreierische Zeitungsannoncen oder durch eigens gedruckte und unter Kreuzband zugesandte Zettel zu empfehlen. Prüft man das Gelieferte genauer, so erweist es sich als unsauber und unsolide gearbeitet, zu den Versuchen ungeeignet, also meist unbrauchbar. Ganz besonders hüte man sich davor, Sendungen bestellter Apparate auf Postvorschuß anzunehmen. Es ist nämlich nicht sowohl das Mißtrauen, die Waare an einen Unbekannten abzuschicken, oder die Furcht, es möchte die Zahlung nicht erfolgen, was die Leute zum Mittel des Postvorschusses zu greifen veranlaßt, als vielmehr die eigene Ueberzeugung des Unwerths der gelieferten Apparate, weil sie selbst einsehen, daß der Empfänger, nach genauerer Prüfung derselben sich genöthigt sehen wird, sie sofort zurückzusenden.

Der bei weitem größere zweite Theil des Buches behandelt speciell die physikalischen Instrumente. Es leuchtet ein, daß, wenn dieses nicht eine übermäßige Ausdehnung gewinnen sollte, unter den unzähligen, sowohl für wissenschaftliche wie für Unterrichtszwecke bestimmten Instrumenten eine Auswahl getroffen werden mußte. Hierin ist nun, so viel wie möglich der Grundsatz festgehalten worden, alles das vorzugsweise zu berücksichtigen, was zur Veranschaulichung der jedem Gebildeten nächstliegenden, darum hier wichtigsten Er-

scheinungen und ihrer Gesetze dient. Wissenschaftliche Specialitäten mußten eben so, wie blos amüsirende Curiositäten übergangen werden. Es ist auch zur Instrumentenkenntniß und Uebung im Experimentiren gar nicht nöthig, alle Instrumente, die man im Laufe der Zeit in die Hände bekommt, so umständlich beschrieben zu sehen, wie hier mit denen geschehen, die überhaupt berücksichtigt wurden; aus der genauen Kenntniß einer Reihe derselben lernt man bald auch andere richtig beurtheilen und behandeln. Ueberdies liefert jedes Jahr neue Instrumente, die man denn doch ganz selbständig gebrauchen lernen muß. Daß hinsichtlich der zu treffenden Auswahl verschiedene Ansichten herrschen können, gebe ich gern zu; jeder Ansicht gerecht zu werden war aber unmöglich, und eine besonnene Kritik wird in diesem Punkte billig sein und nicht Unmögliches verlangen.

Eine große Anzahl Instrumente macht Jahr aus, Jahr ein ihre Wanderung durch alle neu erscheinenden Lehrbücher, obgleich ihnen die größten Mängel anhaften. Man wird finden, daß ich viele derselben wesentlich abgeändert oder durch ganz neue ersetzt habe, weil mich meine lange Erfahrung von der Unbrauchbarkeit der landläufigen Formen überzeugt hat. Diese Neuerungen alle hier aufzuzählen ist unmöglich; ihre Zahl ist zu groß; wer in den Lehrbüchern bewandert ist, wird sie bald herausfinden. Manche davon sind schon in den verschiedenen Auflagen meiner Lehrbücher aufgeführt und, zwar oft verstümmelt, in andere Lehrbücher übergegangen.

Um den Beschreibungen auch im Einzelnen größere Deutlichkeit zu geben, sind denselben von Herrn P. Neumann nach perspectivischer Projection entworfene Zeichnungen beigegeben, welche der Herr Verleger mit großen Opfern in sauberem Holzschnitt und galvanoplastischen Kupferabdrücken hat ausführen lassen. In einzelnen Fällen sind bloße Durchschnitte der betreffenden Instrumente gegeben, allemal da nämlich, wo die deutliche Darstellung des inneren Baues solches als unabweislich erscheinen ließ.

Daß eine Reihe Druckversehen stehen geblieben sind, bedauere ich im höchsten Grade, dürfte aber wegen der Entfernung des Druckortes zu entschuldigen sein. Um meinerseits das Mögliche beizutragen, das Uebel wieder gut zu machen, habe ich die Druckbogen nochmals genau durchgesehen und die Fehler gewissenhaft angegeben.

So möge denn der betreffende Leserkreis diesem Producte meines Strebens, der Kenntniß der Naturgesetze möglichste Verbreitung zu verschaffen und sie zum Gemeingut der Gebildeten zu machen, dieselbe freundliche Aufnahme gewähren, deren sich meine früheren Arbeiten auf diesem Felde zu erfreuen hatten.

Brunnen bei Parchim, Juli 1875.

J. Heussi.

Inhalt.

Seite

Einleitung 1

Erster Theil.

Von der Einrichtung des physikalischen Apparates im Allgemeinen und von einigen häufiger vorkommenden Arbeiten.

I. Locale für den physikalischen Apparat 3
1. Das Auditorium 6
2. Das Cabinet 13
3. Der Arbeitsraum 16
II. Von den neben den Apparaten erforderlichen Gegenständen.
1. Von den Werkzeugen 17
2 Von den Consumtibilien 31
III. Von der Aufbewahrung der Werkzeuge und Consumtibilien 32
IV. Von einigen oft vorkommenden Arbeiten.
1. Bearbeitung des Glases 35
2. Bearbeitung des Holzes 42
3. Bearbeitung der Metalle.
A. Das Drehen 44
B. Das Härten des Stahls 48
C. Das Bohren 50
D. Das Schraubenschneiden 52
E. Das Löthen 59
4. Bearbeitung des Korks 64
5. Von Kitten und sonstigen Bindemitteln 65
V. Verschiedenes.
1. Ordnung in der Aufstellung der Apparate 66
2. Eigenthümlichkeiten und Fehler der Apparate 67
3 Nonien 67
4. Hülfsapparate 67
5. Das Reinigen der Apparate 68
6. Das Lösen festsitzender Flaschenpfropfen 70
7. Anschaffung physikalischer Apparate 72
8. Aus- und Einpacken der Apparate 73

Zweiter Theil.

Von den physikalischen Instrumenten.

I. Messen und Wägen
1. Messen. Maßstäbe 77
2. Wägen. Fallröhre.
a. Wagen und Gewichte 80
b. Instrumente zur Ausmittelung des specifischen Gewichtes.
α. Durch die Wage 88
β. Durch Aräometer 89

Seite

II. Versuche über Molecularkräfte fester Körper. Elasticität, Cohäsion und Adhäsion.
1. Elasticität. Absolute Festigkeit 93
2. Biegelasticität. Relative Festigkeit 94
3. Drehelasticität 94
4. Adhäsion 97

III. Gleichgewicht der Kräfte bei festen Körpern.
1. Kräftenparallelogramm 98
2. Hebel 103
3. Rollen und Flaschenzüge 105
4. Die schiefe Ebene 106
5. Die Schraube 110
a. Druckschrauben 111
b. Corrections, Justir- und Stellschrauben 112
c. Die Schraube ohne Ende 114
d. Mikrometerschraube 114
e. Die Längentheilmaschine 117
f. Die Differentialschraube 118
g. Doppel-und mehrgängige Schrauben 121
6. Die Reibung 122
7. Der Schwerpunkt 124
8. Standfestigkeit der Körper 125

IV. Bewegung fester Körper.
1 Freier Fall. Atwood'sche Fallmaschine 127
2. Centralbewegung. Centrifugalmaschine 133
Nebenapparate zur Schwungmaschine 137
3. Freie Achsen, E
a. Kreisel 143
b. Bohnenbergers Maschine 144
c. Fessel's Gyroskop 145
d. Foucault's Gyroskop 145
e. Unveränderlichkeit der Schwingungsebene oscillirender Körper . 146
4. Das Pendel 147

V. Molecularkräfte tropfbarer Körper.
1. Tropfbarkeit 154
2. Adhäsion 154
3. Capillarität 156
4. Endosmose und Exosmose. Diffusion 157
5. Anziehung und Abstoßung durch moleculare Kräfte 158
6. Compressibilität tropfbarer Flüssigkeiten 158

VI. Gleichgewicht tropfbarer Flüssigkeiten.
1. Fortpflanzung des Drucks 162
2. Der Bodendruck 162
3. Verticaler Druck nach Oben. Horizontaler und schiefer Seitendruck 164
4. Bramah's hydrostatische Presse 166
5. Segner's Rad 169
6. Communicirende Röhren 170
7. Der anatomische Heber 171
8. Der Galileische Versuch 173
9. Archimedisches Gesetz 173
10. Schwimmende Körper 175

VII. Bewegung tropfbarer Flüssigkeiten.
Torricelli'sches Gesetz 178

VIII. Eigenschaften ausdehnsamer Flüssigkeiten.
1. Schwere der Luft.
a. Der Torricelli'sche Versuch 184

Seite

b. Pipetten oder Stechheber 186
c. Der intermittirende Brunnen 187
d. Der selbstarbeitende Filtrirapparat 189
e. Bewegung durch Luftdruck 190
f. Der Heber 190
g. Die Pumpen 192
h. Die Mariotte'sche Flasche 195
i. Das Barometer 195
2. Zusammendrückbarkeit und Ausdehnsamkeit der Luft.
a. Versuch mit einem Hohlcylinder 209
b. Der Heronsball 210
c. Der Heronsbrunnen 211
d. Das Mariotte'sche Gesetz 212
3. Die Luftpumpe 215
4. Nebenapparate zur Luftpumpe 232
5. Gleichgewicht fester Körper in ausdehnsamen Flüssigkeiten . . 238
6. Manometer 239
7. Aëronautik 243
8. Eudiometrie 245
9. Gasometer und Gebläse
A. Gasometer.
α. Gasometer der chemischen Laboratorien 246
β. Gasometer der Gasbeleuchtungsanstalten 248
γ. Gasometer der Fabriken künstlicher Mineralwasser . . . 250
B. Gebläse.
α. Der einfache Blasebalg 250
β. Der doppelte Blasebalg 251
γ. Das Cylindergebläse 254

IX. Akustik.
1. Transversalschwingungen der Saiten 257
2. Seilwellen 261
3. Schwingung der Stäbe. Stimmgabel 262
4. Schwingung der Platten 266
5. Schwingende Bewegung der tropfbaren Flüssigkeiten 267
6. Schwingungen der Luft. Orgelpfeifen 271
7. Fortpflanzung des Schalles 274
8. Bestimmung der absoluten Schwingungszahl 276
9. Interferenz des Schalles 281
10. Reflexion des Schalles 282
11. Mittheilung der Schwingungen 283

XI. Das Licht.
1. Verbreitung des Lichts 285
2. Photometer 288
3. Der Heliostat 291
4. Das Reflexionsgesetz 294
5. Concav- und Converspiegel 299
6. Brechungsgesetz 306
7. Totale Reflexion 312
8. Brechung im Prisma 316
9. Sphärische Linsen 324
10. Farbenzerstreuung 328
11. Fraunhofersche Linien 331
12. Maß der Zerstreuung 332
13. Chromatische Abweichung 332
14. Achromasie 333
15. Spectralanalyse 334
16. Das Auge 343

Seite

17. Das Stereoskop 346
18. Dauer des Lichteindrucks 350
19. Dioptrische Instrumente
    a. Mikroskope 353
    b. Fernröhre 365
    c. Verschiedene dioptrische Instrumente 370
20. Interferenz 376
21. Beugung des Lichts 380
22. Farben dünner Körper 383
23. Doppelte Brechung 384
24. Polarisation 388

XII. Die Wärme.
1. Ausdehnung der Körper 397
2. Veränderung des Aggregatzustandes 407
3. Spannkraft der Dämpfe 412
4. Hygrometer 422
5. Specifische Wärme 426
6. Verbreitung der Wärme.
    a. Strahlung 430
    b Leitung 440

XIII. Magnetismus.
1. Magnete 443
2. Magnetnadeln 445
3. Instrumente zur Darstellung der wesentlichsten Eigenschaften des Magnets 450
4. Das Magnetisiren des Stahls 461
5. Instrumente zur Erforschung und Anwendung des tellurischen Magnetismus 464

XIV. Reibungselektricität.
1. Einfachste elektrische Erscheinungen 473
2. Elektrische Influenz 476
3 Einfachere, auf der Influenz beruhende Apparate 479
4. Die Elektrisirmaschine 483
5. Apparate, welche in Verbindung mit der Elektrisirmaschine gebraucht werden 495
6. Auf der Influenz beruhende Apparate 501

XV. Galvanismus.
1. Fundamentalversuche 512
2. Galvanische Ketten 516
3. Wirkungen des Stromes 530

XVI. Elektromagnetismus.
1. Ablenkung der Magnetnadel durch den Strom 536
2. Elektromagnetische Meßapparate 540
3. Magnetisirung des Eisens und Stahls 550
4. Wirkung des Magnets auf bewegliche Ströme 554

XVII. Thermoelectricität 563

XVIII. Die Induction.
1. Elektrische oder Voltainduction 565
2. Magnetinduction 569

XIX. Rotationsmagnetismus 578

Register.

Ablenkung der Lichtstrahlen, kleinste, Seite 318. 321.
Absolute Schwingungszahl tönender Körper 276.
Abstoßung durch moleculare Kräfte 158.
Abweichung, chromatische 332.
— — sphärische 327. 304.
Accommodationsvermögen 345.
Achromasie 333.
Adhäsion fester Körper 97.
— — tropfb. Flüssigkeiten 154.
Aeolipile 124.
Aeolsharfe 261.
Aëronautik 243.
Aether durch den elektr. Funken zu entzünden 496.
Aggregatzustände, Veränderung derf. 407.
Amalgamiren des Zinks 522.
Ampère'sche Gestelle 554.
Anatomischer Heber 171.
Aneroidbarometer 206. 208.
Anlassen des Stahls 49.
Anschaffung der Apparate 72.
Anziehung durch moleculare Kräfte 158.
Apparat 1.
— — für die Anziehung und Abstoßung zweier elektr. Ströme 560.
Aräometer 89.
Arbeiten 35.
Arbeitsraum 5. 16.
Archimedisches Gesetz 173.
Auditorium 5. 6.
Aufbewahrung der Apparate 13.
— — der Werkzeuge und Consumtibilien 32.
Auge 343
— — künstliches 344.
August's Psychrometer 425.
Ausdehnsamkeit der Luft 209.
Ausdehnung der festen Körper durch die Wärme 397.
Ausdehnung der tropfb. Flüssigkeiten 399.
— — der Luft und Gase 400.
Ausfluß der Flüssigkeiten 178.
Auslader 503.
Auslösung an der Fallmaschine 129.
Aus- und Einpacken der Apparate 73.

Babinet's Hahn 221.
Ballon zum Wägen der Luft 232.
Bandspirale 552.
Barometer 195.
— — an der Luftpumpe 223.
— — im luftverdünnten Raum 236.
Batterie, elektr. 506.
Beleuchtungslinse 358.
Beleuchtungsspiegel 356.
Beugung des Lichts 380.
Biegelasticität 94.
Blasebalg, einfacher 250.
— — doppelter 251.
Blendung 358.
Blitzrad 533.
Blitztafel 500.
Bodendruck 162.
Bohnenberger's Elektrometer 519.
— — Maschine 144.
Bohren 50.
Bohrer 42. 50.
Bramah's hydrostatische Presse 166.
Brechung des Lichts im Prisma 316. 319.
— — in tropfbaren Flüssigkeiten 320.
Brechungsgesetz 306.
Brechungsverhältniß, Bestimmung desselben 321.
Bremsschraube 112.
Brennpunkt der Linsen, Bestimmung desselben 325.
Brückenwage 87.
Bunsen'sches Element 524.

Cabinet 5. 13.

Colibriren 79.
Camera lucida 315.
Camera obscura 372.
Capillarität 156.
Carteſianiſcher Taucher 177.
Centrifugalbohrer 51.
Centrifugalgebläſe 257.
Centrifugalmaſchine 133.
Chemiſche Wirkungen des galvan. Stroms 534.
Chiminello's Federkielhygrometer 423.
Chromſäure-Element 529.
Collectivglas beim Mikroſkop 361.
Collectivlinſe beim Fernrohr 366.
Communicirende Röhren 170.
Commutator 551.
Compenſationsſtreifen 404.
Compaß 448.
Compreſſibilität tropfbarer Flüſſigkeiten 158.
Concavſpiegel 299.
Condenſator 481.
Conſumtibilien 17. 31.
Correctionsſchrauben 112.
Cylinderblendung 358.
Cylindergebläſe 254.
Cylinderloupe 355.

Dampfcylinder 418.
Dämpfe, Spannkraft derſ. 412.
Dampfkugel 419.
Daniell's Element 520.
— — Hygrometer 424.
Darmſaitenhygrometer 423.
Daſymeter 238.
Dauer des Lichteindrucks 350.
Decimalwage 87.
Deckgläſer 358.
Declination, magnet. 464.
Declinatorium 465.
De la Rive's Schwimmer 562.
Deluc's Hygrometer 423.
Dichtigkeit, größte, des Waſſers, 403.
Differentialſchraube 118.
Differentialthermometer 406.
Diffuſion 157.
Doppelſtrich 462.
Doppelte Brechung 384.
Doppel- und mehrgängige Schraube 121.
Drahtſpirale 552.
Drehbank 44.
Drehelaſticität 94.
Drehen 43.
Drehſcheibe 358.
Drehwage 94. 452.
Druckpumpe 194.
Dunkle Kammer 285. 372.

Einfacher Strich 461.
Eiscalorimeter 428.
Eiſenvioline 263.
Empfindliche Farbe 394.
Elaſticität 93.
Elektriſches Glockenſpiel 496.
— — Licht im luftleeren Raum 500.
Elektriſche Nadel 474.
Elektriſches Pendel 473.
Elektriſche Piſtole 497.
Elektriſches Probeſcheibchen 474.
— — Rad 498.
Elektriſcher Tanz 495.
Elektriſirmaſchine 483.
Elektrolyſe der Salze 536.
Elektromagnete. Anfertigung derſ. 552.
Elektromagnetismus 538.
Elektrophor 479.
Elektroſkop 475.
Endosmoſe 157.
Eudiometer 245.
Exosmoſe 157.

Fallmaſchine 127.
Fallröhre 80. 236.
Farben dünner Körper 383.
Farbenzerſtreuung 316. 319. 328. 332.
Feilen 47.
Fehler der Apparate 67.
Fenſterladen 11.
Fernrohr 365.
— — aſtronomiſches 366.
— — holländiſches 368.
— — terreſtriſches 368.
— — Stativ deſſ. 369.
— — für verticale Stellung 370.
Feſtigkeit, abſolute 93.
— — relative 94.
Fette 66.
Feuerzeug, pneumatiſches 429.
Filtrirapparat, ſelbſtarbeitender 189.
Fiſchbeinhygrometer 423.
Flaſchenpfropfen, Löſen derſ. 70.
Flaſchenzug 106.
Flußmittel 61.
Flüſſigkeiten, elektromotor. Wirkung derſ. 515.
Fortin's Reiſebarometer 202.
Fortpflanzung des Druckes tropfb. Flüſſigkeiten 162.
— — des Schalles 237. 274.
Foucault's Pendelverſuch 150.
Franklin'ſche Tafel 502.
Fraunhofer'ſche Linien 331.
Freiwerden der Wärme 409.
Frictionsrollen 124.
Fühlhebel 55.

Fundamentalversuch, elektromagnet. 538.
— — galvan. 512—515.

Galileiſcher Verſuch 173.
Galvanismus 512.
Galvanometer 434. 540.
Gambey's Declinatorium 465.
Gaslämpchen 339.
Gasleitung 12. 16.
Gaſometer 246—250.
Gasſtänder 24.
Gauß, Magnetometer 465.
Gebläſe 250.
Gefäßbarometer 199.
Geſchwindigkeit des Schalles 274.
Gewichte 80.
Gewindbohrer 53.
Gitterſpectra 381.
Glas, Bearbeitung deſſ. 35.
Glas durchbohren 510.
Gläſer, farbige 330.
— — ſchnell geklühlte 396.
Glaskolben im luftleeren Raum 235.
Glasſprengen 234.
Großmann'ſcher Hahn 219.
Grimaldi'ſcher Verſuch 379.
Größe, ſichtbare 346.
Grove'ſches Element 526.
Gummiball im luftleeren Raum 236.
Gummiröhren 23.
Gyroſkope von Feſſel und Foucault 145.
Gyrotrop 551.

Häcker's Formel für die magnet. Tragkraft 451.
Haldat's Apparat 162.
Halterſtange 8.
Härten des Stahls 48.
Hartlöthen 62.
Hebelapparat 103.
Heber 190. 237.
Heberbarometer 200.
Heliostat 291.
Henley'ſcher Auslader 504.
Heronsball 210. 236.
Heronsbrunnen 211.
Hoffer's Methode, Magnete zu ſtreichen 463.
Hohlprisma 321.
Hohlſpiegel zu Schallverſuchen 282.
— — zur Wärmereflexion 431.
Holtz'ſche Elektriſirmaſchine 489.
Holz, Bearbeitung deſſ. 42.
Hook's Radbarometer 205.
Hülfsapparate 67.
Huyghen's Doppelbarometer 204.
Hydroſtatiſches Steigen eines Körpers 190.
Hygrometer 422.

Immerſionsſyſtem 358.
Inclinatorium 469.
Induction, elektr. 565.
Influenz, magnet. 450.
— — elektr. 476.,
Inſtrument 1.
Intenſitätsſtellung des Pachytrops 574.
Interferenz der Wellen flüſſ. Körper 269.
— — des Schalles 281.
— — des Lichtes 376.
Interferenzprisma 379.
Interferenzſpiegel 376.
Intermittirender Brunnen 187.
Iſolirſchemel 500.
Juſtirſchraube 112.

Kältemiſchung 408.
Kitte 65.
Klemmen 516.
Klemme für Stäbe 263.
Kluppe 54.
Kochen des Waſſers im luftleeren Raum 236.
Kork, Bearbeitung deſſ. 64.
Kräftenparallelogramm 98.
Kreiſel 143.
Kreisſtrich 463.
Kreuzfäden 366.
Kryſtalle, wie poſitive und negative nach Rochon zu erkennen 386.
Kryſtallhalter 391.

Labialpfeife 271.
Lackiren 63.
Lamellen, magnet., 443.
Lampen 27—31.
— — optiſche 310.
Lane'ſche Flaſche 504.
Längentheilmaſchine 117.
Latente Wärme 407.
Laterna magica 374.
Lehrzimmer 6.
Leitung der Wärme 440.
Leslie's Differentialthermometer 406.
— — Würfel 430.
Leydener Flaſche 502.
Licht 285.
— — galvaniſches, 531.
— — monochromatiſches, 331.
Links und rechts drehende Kryſtalle und Flüſſigkeiten 393.
Linſen, Aufſtellung derſ. 325.
— — ſphäriſche 324.

Locale 8.
Locatelli'sche Lampe 435.
Lochsirene von Seebeck 279.
Löffelbohrer 42.
Löthen 59.
Löthkolben 61.
Loupe 355.
Luftdruck 184.
Luftmanometer 241.
Luftpumpe 215.
— — einstiefelige 227.
— — zweistiefelige 229.

Magdeburger Halbkugeln 233.
Magnet, Wirkung dess. durch andere Körper hindurch 450.
Magnete 443.
— — natürliche 444.
Magnetinduction 569.
Magnetinductionsmaschine 570.
Magnetische Curven 450.
Magnetische Inclination, Best. ders. 471.
Magnetisches Gesetz der Entfernung 457.
Magnetisches Magazin 444.
Magnetischer Meridian, Best. dess. 453.
Magnetische Declination, Best. ders. 465.
Magnetisiren des Stahls durch Streichen 461.
— — des Eisens u. Stahls durch den elektr. Strom 550.
Magnetismus 443.
Magnetnadeln 445.
Magnetometer 465.
Manometer 239.
Mariotte'sche Flasche 179. 195.
Mariotte'sches Gesetz 212.
Maße, Arten ders. 77.
Maßflasche 504.
Maßstäbe 77.
Maximum- und Minimumthermometer 401.
Melloni's Apparat zur strahlenden Wärme 436.
Messen 77.
Messung der Objecte beim Mikroskop 360.
Metacentrum 176.
Metalle, Bearbeitung ders. 44.
Metallmanometer 241.
Mikrometer 359.
Mikrometerschraube 114.
Mikroskop, Erklärung dess. durch Versuche 361.
— — einfaches 353.
— — zusammengesetztes 356.
— — Prüfung dess. 365.
Mittheilung der Schwingungen 283.
Molecularkräfte fester Körper 93.
Monochord 258.

Newton's Farbenringe 383.
Nicol'sches Prisma 385.
Nobert's Probeplatte 364. 382.
Nörremberg's Polarisationsinstrument 393.
Nonien 67. 78.

Objectgläser 357.
Objecthalter 353.
Objectivmikrometer 359.
Ocularmikrometer 359.
Oersted's elektromagnetischer Fundamentalversuch 538.

Pachytrop 571.
Pendel 147.
— — Aufhängung dess. 130.
Physikalische Stellung des Pachytrops 574.
Physiologische Stellung des Pachytrops 574. 576.
Physiologische Wirkung des galvan. Stroms 533.
Photometer 288.
Pipetten 186.
Plattensäule, volta'sche 517.
Polarisation des Lichts 388.
Prisma, achromatisches 318.
— — Befestigung dess. 319. 323. 325.
Prismenstange zur Aufstellung der Linsen 291. 324. 327.
— als Polarisationsinstrument 390.
Probeobjecte 364.
Probeplatten von Nobert 364
Psychrometer 425.
Pumpen 192.

Quadrantelektrometer 498.
Quantitätsstellung des Pachytrops 573.
Quecksilber 31. 34.
Quecksilbermanometer 239.
Quecksilberregen 235.

Ränderirrädchen 56.
Reflexion des Schalles 282.
— — totale 312.
Reflexionsgesetz 294.
Reibahlen 52.
Reibung 122.
Reibungselektricität 473.
Reinigen der Apparate 68.
— — der Zinkelemente 522.

Rheostat 547.
Richmann'sche Regel 408.
Rückende Kraft des Magnets 456.
Richtplatte 113.
Rochon's Mikrometer 387.
Röhrenapparat für die Schwingung der Flüssigkeiten 268.
Rolle, feste 105.
— — lose 106.
Rotation des elektr. Stroms 556.
— — des Magnets um den Strom 559.
— — zweier Magnete um einen festen Strom 559.
Rotationsapparate, elektromagnetische 554.
Rotationsmagnetismus 578.
Rumford's Differentialthermometer 407.

Saccharometer von Soleil 395.
Saugpumpe 192.
Saussure's Haarhygrometer 422.
Saxton'sche Magnetinductionsmaschine 570.
Schiefe Ebene 106.
Schießpulver im luftleeren Raum zu entzünden 238.
Schirme 303.
Schlittenapparat 566.
Schnellwage 86.
Schränke 13.
Schraube 56. 110.
— — ohne Ende 114.
— — links und rechts gewundene 56. 111.
Schraubhebel 56.
Schraubenschlüssel 56.
Schraubenschneiden 52.
Schraubenzieher 17. 56.
Schwefelkohlenstoff 34.
Schwerd's Beugungsapparate 382.
Schwerpunkt 124.
Schwimmende Körper 175.
Schwingung eines Drahtes 146.
— — der Flüssigkeiten in Röhren 267.
— — der Luft 271.
— — der Platten 266.
— — der Stäbe 262.
Schwingungspunkt 149.
Schwungmaschine 133.
— — Nebenapparate dazu 137.
Segner's Rad 169.
Seilwellen 261.
Seitendruck 165.
Selbstunterbrecher 566.
Senguerd'scher Hahn 218.
Sicherheitsröhren 240.
Sieden, Bedingungen dess. 421.
Sirene von Cagnard Latour 276.
— — von Seebeck 279.
Solenoid 555.
Sonnenmikroskop 370.
Spaltplatte 311.
Specifisches Gewicht, Bestimmung dess. 88.
Specifische Wärme 426.
Spectrolanalyse 334.
Spectroskop 334.
Spindelbohrer 51.
Spitzen, Wirkung ders. auf die Elektricität 499.
Sprachrohr 284.
Sprengen der Blase 234.
Stabgitter 381.
Standfestigkeit 125.
Stechheber 186.
Stellschraube 112.
Stereoskop 346.
Stimmgabel 264.
Storchschnabel 288.
Stöpselventil 221.
Strahlung der Wärme 430.
Stroboskopische Scheiben 352.
Stromwender 551.
Support 46.

Tangentenboussole 544.
Tara 86.
Teller der Luftpumpe 224.
Testobjecte 364.
Thaumatrop 351.
Thermoelektricität 563.
Thermometer 401.
— — von Holtzmann 404.
— — von Breguet 405.
Thermosäule 433.
Thurm für künstl. Licht 310.
Tisch 7. 15.
Torricelli'sches Gesetz über den Ausfluß 178.
Torricelli'scher Versuch 184.
Tragkraft des Magnets 451.
Transversalschwingungen der Saiten 257.
Tropfbarkeit 154.

Ventile 193.
Ventilpumpe 231.
Verbrennen im luftleeren Raum 238.
Verdunstungswärme 410.
Vereinigung der Spectralfarben 330.
Vergrößerung des Mikroskops zu bestimmen 359.
Versenken (Schrauben) 58.
Verstärkungsflasche 502.
Versuch 2.

Vertheilung, elektr., 476.
— — des Magnetismus in Stahlstäben 460.
Verticaler Druck nach Oben 164.

Wage, Wägen 80.
Wärme 397.
— — durch den galvanischen Strom 530.
Wärmeeinheit 402.
Wärmeleitung in festen Körpern 440.
— — in tropfbaren Körpern 441.
— — der Gase 442.
Wärmeverbreitung durch Strömung 442.
Wasserbehälter 11.
Wasserstrahl durch den Luftdruck 237.
Wasserzersetzung durch den galvan. Strom 534.
Weichlöthen 61
Wellenrinne 268.
Werkzeuge 17.
Winter's Elektrisirmaschine 483.

Zamboni'sche Säule 518.
Zauberlaterne 374.
Zeichenmaschine 287.
Zerstreuung, Maß. ders. im Spectrum 332.
Zugelasticität 93.
Zungenpfeife 273.
Zusammendrückbarkeit der Luft 209.
— — des Wassers 158.

Einleitung.

Unser gesammtes Wissen von der Natur beruht auf sinnlicher Wahrnehmung; die Naturwissenschaft ist eine Erfahrungswissenschaft. Was von dem Gesammtgebiete gilt, muß denn auch von jedem seiner Zweige, also auch von der Wissenschaft, mit der wir uns hier besonders beschäftigen wollen, der Physik, gelten. Aufmerksames Beobachten der Naturerscheinungen ist das Mittel, dieselben kennen zu lernen. Aber die Naturkörper bieten sich uns nicht immer unter den Umständen und Verhältnissen dar, unter welchen wir ihr Verhalten kennen lernen wollen; es wirken gewöhnlich verschiedenartige Kräfte in mannigfaltigster Complication auf sie ein; wir wünschen aber den Einfluß jeder einzelnen der wirkenden Kräfte abgesondert von allen anderen zu erfahren und sind daher genöthigt, den zu untersuchenden Körper in solche Lagen und Umstände zu versetzen, in denen die Kräfte, deren Wirkung zur Zeit nicht in Betracht kommen soll, unwirksam gemacht, eliminirt werden. Dazu bedarf es gewisser Vorrichtungen, die bald einfach, bald mehr oder weniger zusammengesetzt sind; sie heißen Instrumente oder Apparate. Ein Instrument ist ein Werkzeug oder Mittel, wodurch eine Arbeit verrichtet, ein Zweck erreicht wird; Thermometer, Barometer, Magnetnadeln ꝛc. sind Instrumente, gerade wie Messer, Hammer und Zange Instrumente sind, aber gewöhnlich deutsch, Werkzeuge genannt werden; der einzige Unterschied liegt in der Verschiedenheit des Zweckes. Apparat ist eine Sammlung von Instrumenten, die entweder zu einem bestimmten Zweck, zu einer besonderen Untersuchung, oder zu einer Reihe zusammengehöriger Arbeiten gebraucht werden; dann heißt aber eine ganze für eine größere Zahl von Naturerscheinungen bestimmte Sammlung von Instrumenten ebenfalls Apparat, z. B. der Vorrath, den eine Schule behufs des Unterrichts besitzt, oder den ein Physiker zu seinen Arbeiten benutzt, mag sich derselbe über alle oder nur über einzelne Theile der Wissenschaft erstrecken. Die Centrifugalmaschine, die Luftpumpe oder Elektrisirmaschine für sich sind Instrumente; jedes derselben in Verbindung mit denjenigen Instrumenten, die man nöthig hat, um Versuche über die Schwungkraft, über die Eigenschaften der Luft oder die Elektricität u. s. w. anzustellen, bildet einen Apparat. Freilich nennt man solche anderweitigen, in Verbindung mit einem Hauptinstrument zu benutzenden Werkzeuge auch wohl Nebenapparate dazu; überhaupt wird die Begriffsbestimmung nicht immer so streng aufrecht erhalten, wie es der ursprünglichen Wortbildung entspricht; man sollte aber immer im Auge behalten, daß Instrument ein Einzelnes, ein Individuum, Apparat eine Collection bezeichnet.

Wenn wir Körper unter absichtlich herbeigeführte, besondere Umstände versetzen, um zu erfahren, welche Wirkungen gewisse Naturkräfte dann hervorbringen, so stellen wir einen Versuch an. So z. B. wenn wir eine Magnetnadel so aufhängen, daß sie nur in der Verticalebene, oder nur in der Horizontalebene schwingen kann, einen Lichtstrahl durch ein durchsichtiges Prisma oder durch eine geschliffene Glaslinse leiten, so sind dies Versuche, wir können erfahren, in welcher Richtung die Nadel endlich zur Ruhe kommt, welche Aenderung der Lichtstrahl durch den Glaskörper erfährt.

Um zur Kenntniß einer Naturerscheinung zu gelangen, müssen wir sie, wie schon oben gesagt, mit unseren Sinnen wahrnehmen. Die Wahrnehmung einer Erscheinung heißt Beobachtung, mag dieselbe sich von selbst dargeboten haben, oder durch einen Versuch verursacht worden sein. Man beobachtet den Stand des Thermometers, Barometers, den Regenbogen, das Nordlicht, eine Sonnen- oder Mondfinsterniß; man beobachtet nicht weniger das durch einen Versuch hervorgerufene prismatische Farbenspectrum, den Entladungsfunken einer geladenen Leydener Flasche u. s. w.

An physikalische Apparate werden wir verschiedene Anforderungen zu machen haben, je nachdem sie dazu gebraucht werden sollen, das Eintreten einer Erscheinung überhaupt nur im Allgemeinen zu constatiren, oder aber auch ihr Gesetz darzustellen. Instrumente für den elementaren Unterricht können daher oft einfacher hergestellt werden und bieten dadurch nicht blos den Vortheil des geringeren Preises, sondern auch der leichteren Uebersichtlichkeit. Und wie sollte man den Unterricht in verschiedene Stufen abtheilen, wenn es nicht nach den zum Verständniß erforderlichen Hülfsquellen geschieht? Die Lichtbrechung z. B. kann man an jedem durchsichtigen Körper, an einem Stück Glas oder am Wasser eines Flusses zeigen; um aber das Snellius'sche Gesetz zu demonstriren bedarf es eines complicirten Apparates, der Messungen zuläßt; denn, das physikalische Gesetz einer Erscheinung drückt die Abhängigkeit der sie bedingenden Zeit-, Raum- und Kraftgrößen von einander aus, ist allemal ein mathematischer Ausdruck. Nicht jedes Lebensalter ist geeignet, solche Ausdrücke, seien sie in Worte oder Zeichen gefaßt, zu verstehen, ihrem ganzen Inhalte nach zu fassen. Außer einer gewissen Verstandesreife gehört dazu ein bestimmtes Maß mathematischer Begriffe, die zu einer Zeit, da der physikalische Unterricht wenigstens in elementarer Weise schon mit großem Nutzen für die formale Bildung, wie zur Anbahnung positiver Kenntnisse beginnen kann, noch nicht vorausgesetzt werden dürfen. So kann es denn kommen, daß man in einer für den Unterricht bestimmten Sammlung in verschiedenen Stadien desselben, zur Darstellung derselben Erscheinung zwei verschiedene Instrumente haben muß, je nachdem man blos die Erscheinung an sich, oder auch deren Gesetz durch den Versuch constatiren will.

Erster Theil.

Von der Einrichtung des physikalischen Apparates im Allgemeinen und von einigen häufiger vorkommenden Arbeiten.

I. Locale für den physikalischen Apparat.

In den nächstfolgenden Erörterungen werde ich zwar vorzugsweise den Schulapparat im Auge haben; alles Principielle davon gilt aber vollkommen auch für jeden Privatapparat; der Unterschied ist nur der, daß der letztere jeder Zeit nach dem Willen und den Mitteln des Eigenthümers so oder so umgestaltet werden kann, während die Mittel zur Einrichtung eines Apparates für eine öffentliche Anstalt von den Bewilligungen der betreffenden vorgesetzten Behörden abhängig sind. Es wird zwar die Verwendung der etatmäßigen Fonds wohl am zweckmäßigsten dem betreffenden Lehrer anheimgestellt, aber nur in seltenen Fällen fließen diese so reichlich, daß dem rapiden Fortschritt der Wissenschaft Rechnung getragen werden kann.

Die Aufbewahrung der Apparate ist von der größten Wichtigkeit, da sie die Erhaltung derselben auf lange Zeit hinaus mitbedingt. Aber mehr noch: eine zweckmäßige, den Apparaten zuträgliche, dem Lehrer bequeme, den Anforderungen des Unterrichts angemessene Aufstellung wird den Lehrer, der sie zu besorgen und täglich damit zu verkehren hat, ermuntern, alle mögliche Sorgfalt zu verwenden, um sie in einem für den Gebrauch jeder Zeit tauglichen Zustande zu erhalten. Und dies ist ein Gesichtspunkt von höchster Wichtigkeit, einerseits mit Rücksicht auf den Lehrer, andererseits in Betreff der Schüler, welche beide wieder in der Förderung des Wohls und des Rufes der Schule zusammentreffen. Die Mühe und Sorge für die Aufbewahrung der Apparate wird stets dem Lehrer der Physik übertragen sein, weil es so am natürlichsten ist; aber wer kennt die Last, die dieser damit übernimmt? der junge Lehrer, der zum erstenmal den physikalischen Unterricht ertheilt, gewiß nicht; auch nicht, wer überhaupt mit dem Gegen-

stande Nichts zu thun hat; sondern lediglich der, der Jahre lang einen Apparat besorgt hat; er allein kann wissen, was zu thun ist, wenn neue Apparate angeschafft, wenn gebrauchte reparirt oder zeitgemäß abgeändert werden sollen, was für Arbeiten dazu gehören, wenn ein Versuch angestellt werden soll, wie mühselig es ist, jedes Instrument nach dessen Gebrauch wieder in den zum nächsten Versuch tüchtigen Zustand zu versetzen, zu reinigen, was, wie wir sehen werden, zuweilen ein Auseinandernehmen des Ganzen erfordert. Er hat aber auch, freilich als einzigen Lohn für viele Arbeit, die Freude, durch seinen Apparat Alles erfüllt zu sehen, was derselbe leisten soll, aber eben nur bei sorgsamer Behandlung leisten kann. Die Sorge und Mühe, die er auf seinen Apparat verwendet, trägt aber auch reiche Früchte in seinen Schülern, Früchte, von denen der keine Ahnung hat, der sein Wissen nur aus Büchern schöpft: sie lernen Ordnung und Reinlichkeit achten, gewöhnen sich selbst daran, und werden ebenso, wie der Lehrer es ist, von Achtung erfüllt werden für einen werthvollen, nützlichen Gegenstand, sie werden die Summe von Arbeit, Fleiß und Scharfsinn, die darin niedergelegt ist, schätzen lernen, ein Gewinn, der für die Jugend nicht hoch genug anzuschlagen ist. Aus diesen Gründen lasse ich auch wohl die Schüler selbst manche Apparate handhaben, sie herbei- und forttragen, manche Einrichtungen dabei treffen, zuweilen einen Versuch anstellen, einzelne Instrumente reinigen, wieder zusammensetzen u. s. w. Es trägt dies die besten Früchte. Daß man dabei cum grano salis verfahren muß, ist selbstverständlich; daß es aber pädagogisch gerechtfertigt, ich möchte sagen geboten ist, der Jugend mit einem gewissen Maß von Vertrauen entgegen zu kommen, dürfte allgemein anerkannt werden; ich habe es noch nie zu bereuen nöthig gehabt; der erfahrene Lehrer wird unschwer die rechte Grenze hierin zu finden wissen.

Es besteht noch ein Unterschied darin, ob man sich in einer großen Stadt befinde, wo Werkstätten aller Art vorhanden sind, oder aber an einem kleinen Orte, wo kein Mechaniker zu finden, und unter den Handwerkern auch Keiner ist, der sich mit Etwas zu behelfen wüßte, was nach der ehemaligen, jetzt glücklicher Weise überwundenen Zunftordnung nicht streng in sein Fach schlägt. In großen und Mittelstädten ist die Mühe eine viel geringere als in kleinen; man lernt dort gar nicht die Schwierigkeiten kennen, mit denen man in kleinen Städten zu kämpfen hat. Indessen, geht man mit Eifer und dem vollen, lebendigen Interesse für die Sache daran, so wird man auch diese Schwierigkeiten überwinden, und durch die Freuden am Erfolge des Unterrichts sich reichlich entschädigt fühlen; sind doch die Lehrer der Naturwissenschaft auch wieder vor Allen dadurch begünstigt, daß sie berufen sind, die Jugend einzuführen in die weltbeherrschenden Gesetze der Natur.

Es kommt wohl selten vor, daß an einer Schule, die einen erheblichen Apparat besitzt, die dazu bestimmten Localitäten allen Anforderungen entsprächen, die der Lehrer daran stellen muß, um den Unterricht mit Erfolg ertheilen zu können. Daß alte Schulhäuser

das nicht leisten können, ist selbstverständlich; denn ehemals bekam man ja in einer Schule nichts Anderes zu sehen als Bücher, namentlich alte Classiker; Wandtafeln und Wandkarten sind ein späteres Zugeständniß. Aber auch neue, in der letzten Zeit gebaute Schulhäuser haben nichts weniger als angemessene Räume für naturwissenschaftliche Sammlungen, weil in der Regel die betreffenden Lehrer nicht gefragt werden, was in dieser Beziehung das Bedürfniß erfordere. Da meine Erfahrungen mich zu der Ueberzeugung geführt haben, daß, so wie die Sachen zur Zeit noch stehen, die Naturwissenschaften sich in der Schule jeden Zoll Terrain, den sie haben wollen, selbst erkämpfen müssen, so ist jedem Lehrer irgend eines Zweiges derselben ernstlich zu rathen, bei Gelegenheiten, wo neue Raumvertheilungen vorgenommen werden, sei es in Folge eines Neubaues oder eines Umbaues, sich ohne Scheu vorzudrängen, für seine Wissenschaft und seinen Unterrichtsgegenstand einzutreten; denn einmal fehlt von anderer Seite das Verständniß für diesen Theil der Schulverwaltung, andererseits ist von denen, die bei jeder Gelegenheit in Wort und Schrift bitter darüber klagen, daß die Naturwissenschaften „ihnen" (soll wohl heißen der classischen Philologie!) so viel Zeit abgerungen, gewiß nicht zu erwarten, daß sie hinsichts des Raumes Anerbietungen machen werden, welche auch nur im geringsten Maße befriedigen könnten. Darum ruhe der Lehrer nicht, bis er erlangt hat, was die localen Verhältnisse erfordern. Es ist doch nun einmal nicht zu widerlegen, daß die Pflege der Naturwissenschaften in der Gegenwart einen integrirenden Theil des allgemeinen Culturfortschritts bildet, und dafür sollte sich füglich jeder Lehrer der Naturwissenschaften, ja jeder Lehrer der Jugend überhaupt auf's lebhafteste interessiren.

Für den physikalischen Unterricht sind drei an einander stoßende Zimmer erforderlich: 1) das Auditorium oder Lehrzimmer, wo der Unterricht ertheilt wird und die meisten Versuche angestellt werden; 2) der Raum, wo die Instrumente aufbewahrt werden, das Cabinet; 3) ein Arbeitsraum, d. h. ein Zimmer, um darin alle mechanischen Arbeiten vorzunehmen, welche die richtige Behandlung und Instandhaltung einer Apparatensammlung unumgänglich erfordern.

Das Bedürfniß der ersten beiden Räumlichkeiten dürfte Jeder von Vornherein einsehen und zugestehen; dagegen wird die Forderung eines sogenannten Arbeitsraumes bei Manchem Bedenken erregen. Ich will gern zugeben, daß es an vielen, ja an den meisten Schulen schwer halten wird, auch noch ein drittes Zimmer für den erwähnten Zweck abzutrennen; es ist auch mir bisher nicht gelungen, ich habe mir daher in meinen beiden bisher eingenommenen Stellungen in meiner eigenen Wohnung einen Raum, d. h. ein besonderes Zimmer zu dem Zwecke reservirt und tagtäglich zu den vorkommenden Arbeiten für den Apparat benutzt. Es kommt immer Etwas vor, was man durch Drehen, Sägen, Hobeln, Feilen ꝛc. zu Stande zu bringen hat, wenn man den Versuchen den Werth und die Bedeutung geben will, deren sie für den

Unterricht fähig sind; das Bedürfniß wird um so dringender, wenn man sich in einer Stadt befindet, wo kein Mechanicus ist, erlischt aber in der größten Stadt nicht, wo man Arbeiter aller Art in genügender Zahl vorfindet. Es ist durchaus nicht gemeint, daß der Lehrer der Physik, der Physiker von Fach, oder der Dilettant, der sich zum Vergnügen oder zur Belehrung mit physikalischen Apparaten und Versuchen abgiebt, neue Instrumente anzufertigen habe; das würde ja fast seine ganze Zeit in Anspruch nehmen; aber man bedarf zu den Versuchen selbst, auch wenn man die fertigen Apparate zur Hand hat, je nach den localen Verhältnissen, noch so mancher Hülfsmittel, um derenwillen man unmöglich den Techniker in Anspruch nehmen kann, wenn man nicht einen Versuch auf spätere Zeit aufschieben, vielleicht dann ganz von der Hand weisen will. Schon das Bedürfniß, sich wegen mancher Nebenapparate, oder vielmehr nebensächlicher Dinge und Einrichtungen von fremder Hülfe unabhängig zu machen, der Wunsch, einem hervortretenden Mangel sofort abzuhelfen, nöthigen dazu, verschiedene Arbeiten selbst auszuführen. Man will auch oft nur eine vorläufige Zusammenstellung zu einem Apparate machen, um daran die beste Form auszuprobiren. Dann ist aber zu den Versuchen mit fertigen, vom Mechaniker bezogenen Apparaten noch so Vieles nöthig, ehe die Zusammenstellung zum Versuche perfect ist: hier fehlt ein Stativ, dort ein Halter, oder eine Röhre von bestimmter Form, oder irgend eine Verbindung, die durch Metall, Holz, Glas u. s. w. herzustellen; dergleichen kommt so oft vor, daß man unmöglich immer einen Arbeiter darum in Thätigkeit setzen kann, kurz, der Experimentirende muß sich in solchen Fällen selbst zu helfen wissen.

Es wollen nun freilich die Fertigkeiten, die dazu befähigen, das hier Verlangte auszuführen, auch gelernt sein. Bei einigem angeborenen Talent und gutem Willen wird man aber bald dahin gelangen, namentlich wenn man jede Gelegenheit benutzt, sich in Werkstätten umzusehen und bei verständigen Technikern Raths zu erholen.

1. Das Auditorium.

Das Auditorium oder Lehrzimmer muß die für die vorhandene Schülerzahl erforderliche Größe haben und überdies zwischen der vordersten Schülerbank und dem Experimentirtisch noch wenigstens 1 m. Zwischenraum bieten, weil manche Instrumente während des Versuchs in diesem Raume auf den Fußboden gestellt werden müssen. Es ist dies nöthig bei allen Instrumenten, welche wegen ihrer Höhe, wenn sie auf dem Tische ständen, nicht gehandhabt werden könnten, wie z. B. die Fallmaschine, der Pendelapparat, der anatomische Heber u. a. m., oder bei solchen, die zwar auf dem Tisch Platz finden, bei denen man aber den Raum außerhalb des Tisches mit benutzt, z. B. beim seitwärts ausfließenden Wasserstrahl u. a. Bei anderen Versuchen, die mehr in der Nähe gesehen werden müssen, läßt man die Zuhörer,

wenigstens in Abtheilungen, an den Tisch treten, wozu denn der Zwischenraum ebenfalls unentbehrlich ist.

Im Allgemeinen muß von diesem Zimmer verlangt werden, daß der Fußboden gehörig fest sei, damit nicht während der Versuche durch das Auftreten, was nie ganz zu vermeiden sein wird, den Instrumenten Erschütterungen mitgetheilt werden, welche den richtigen Verlauf des Versuchs stören würden. Wenn es irgend möglich ist, lasse man vor der Besitznahme eines Raumes zum physikalischen Lehrzimmer den Fußboden aufnehmen und die Balkenlage dahin abändern, daß die Zwischenräume nur etwa halb so groß werden, als sie gewöhnlich sind. Man lasse also zwischen die Querbalken noch Unterlagen einsetzen, gebe diesen eine feste, unveränderliche Lage und nagle die Bretter des Fußbodens auch auf diesen fest. Weiter sorge man dafür, daß der Fußboden genau horizontal gelegt werde; es ist kaum möglich, auf einem unebenen oder schief liegenden Fußboden ein Instrument richtig, zum Versuche tüchtig, aufzustellen; auch Tische, Schränke u. dgl. können auf einem windschiefen Boden nicht richtig stehen.

Man schlägt gewöhnlich vor, die Tische und Bänke für die Schüler, Zuhörer ꝛc. in den Zimmern für naturwissenschaftlichen Unterricht amphitheatralisch nach hinten hin höher werden zu lassen; ich kann dies nicht billigen, weil es zu viele Inconvenienzen mit sich führt, namentlich auch, beim besten Willen der Schüler, zu vieler Unruhe Anlaß giebt, da das Auftreten über dem hohlen Raume einen durch Resonanz verstärkten Schall erzeugt, der immer lästig werden wird. Was das bessere Sehen bei erhöhten Sitzen anlangt, so ist in der That nicht viel dafür gewonnen, denn die Entfernung bleibt dieselbe, und das Sehen aus der Höhe giebt in manchen Fällen undeutliche Ansicht.

Zum Aufstellen der Apparate und zum Experimentiren dient ein fester Tisch, je nach der Räumlichkeit $1\frac{1}{2}$—$2^{m.}$ lang und etwa $80^{cm.}$ breit, jedenfalls nicht breiter, als daß man mit der Hand bequem von der einen Seite nach der anderen langen kann, um die aufgestellten Apparate alle von der einen Seite aus zu beherrschen; als Höhe dürfte die eines gewöhnlichen Tisches, $80^{cm.}$, das richtigste Maß sein. Mit Ausnahme eines $8^{cm.}$ breiten Randes soll die Tischplatte aus einem Stoffe bestehen, der von Säuren und Alkalien nicht angegriffen wird; am besten freilich wäre eine recht ebene Platte aus einem Stück; dazu würde sich vor Allem Porzellan empfehlen, sie möchte aber theuer werden und beim Brennen schwerlich eben bleiben. Billiger wäre eine gebrannte und glasirte Thonplatte; dem Uebelstande des Verziehens wäre aber auch sie ousgesetzt. Diese Schwierigkeit ließe sich sowohl für den einen wie für den anderen Stoff etwas vermindern, wenn man die Platte aus zwei, oder gar aus vier Stücken zusammensetzte. Ein geeigneter Kitt für die Fugen soll nachher angegeben werden. Ein weiterer für solche Platte geeigneter Stoff dürfte Schiefer sein, da Alkalien denselben gar nicht, starke Säuren nur sehr langsam angreifen; es handelt sich eigentlich nur darum, einzelne Tropfen Säuren, die

etwa bei Versuchen nebenbei fallen, nicht zu lange darauf liegen zu lassen, ehe sie abgewischt werden. Eine Schieferplatte müßte jedoch weil der Stoff brüchig ist, möglichst stark genommen werden, würde aber den Vortheil darbieten, daß sie an sich nicht theuer ist, und gegen geringe Kosten ganz eben geschliffen werden könnte. Mag man von den angeführten Stoffen wählen welchen man will, so müssen die Fugen an den Rändern, und Falls die Platte aus zwei oder mehr Stücken zusammengesetzt wird, die Fugen zwischen den einzelnen Theilen durch einen Kitt ausgefüllt werden, der Wasser, Alkalien und Säuren vollkommen widersteht. Ein Kitt aus feingestoßenem Schwerspath (schwefelsaurem Baryt) und gutem Leinölfirniß erfüllt alle diese Bedingungen und erhärtet schnell.

Will man, wegen der Kosten oder aus anderen Gründen, von der Anschaffung einer Platte aus den genannten Stoffen absehen, so bleibt noch übrig, gewöhnlich glasirte Ofenkacheln zu verwenden, die dann mit demselben Kitt ausgefugt werden. Man muß dann aber die Kacheln so gut es gehen will, aussuchen und vorsichtig legen lassen, so daß sie möglichst eine Ebene bilden; gut wird es niemals zu erreichen sein, aber man kann dann doch einigermaßen damit auskommen.

Da alle diese Decken, welche man auch wählen mag, ein großes Gewicht haben, so muß man darauf bedacht sein, ihnen eine feste Unterlage zu geben. Es wird sich empfehlen, quer durch die Breite des Tisches in kurzen Distanzen einige starke eiserne Schienen, auf die hohe Kante gestellt, in der Weise anzubringen, daß man sie an beiden Enden rechtwinklig zu Flanschen umschmiedet und diese mittelst starker Holzschrauben an die Längsstücke des Tischrahmens befestigt, auf diese eine Holzplatte legt, welche dann die obere Platte (resp. Kacheln) aufnimmt.

Es ist bereits erwähnt, daß der Tisch einen 8$^{cm.}$ breiten Rand bekommen soll; dieser Rand muß auch in gleicher Breite als Zarge über das Fußgestell des Tisches vorragen, um mittelst Schraubzwingen verschiedene auf dem Tisch aufzustellende Apparate festschrauben zu können.

In den unter der Tischplatte befindlichen Räumen werden Schubkasten und Schränke angebracht, in welchen man die bei den Versuchen am häufigsten gebrauchten Werkzeuge und sonstige Hülfsmittel aufbewahrt. Diese Behältnisse werden am besten zum Verschließen eingerichtet. Der ganze Tisch muß sehr fest gebaut sein und auf dem Fußboden ohne zu wanken stehen.

In der Mitte der einen schmaleren Seite des Tisches wird eine runde Eisenstange von 1,5 bis 2$^{m.}$ Länge und 2 bis 2,5$^{cm.}$ Durchmesser vertical aufgesetzt. Sie kann entweder mit ihrem Ende durch den 8$^{cm.}$ dicken Rand des Tisches durchgesteckt und von Unten durch eine starke Schraubenmutter festgemacht werden, wozu erforderlich ist, daß sie oberhalb des Tisches einen starken Wulst gleich angeschmiedet bekomme: oder man setzt in den Tischrand eine Eisenplatte von 3$^{cm.}$ Dicke ein, durchbohrt sie, schneidet eine Schraube ein und giebt der

Stange dasselbe Gewinde. Die Stange wird aus gutem Schmiedeeisen gemacht und sorgfältig cylindrisch abgedreht. Hierzu gehört nun weiter ein Arm AB (Fig. 1 u. 2), indem eine der Dicke der Stange genau

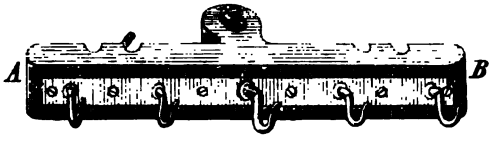


Fig. 1.

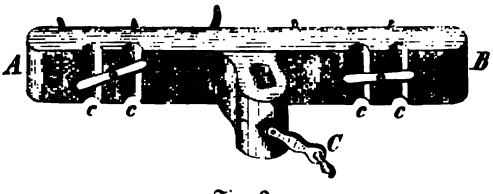


Fig. 2.

gleiche Durchbohrung angebracht ist; mittelst einer Schraube mit Kurbelgriff C (Fig 2 u. 3) läßt sich dieser Arm, wenn er auf die Stange geschoben ist, in jeder Höhe feststellen. Um aber die glatte Oberfläche

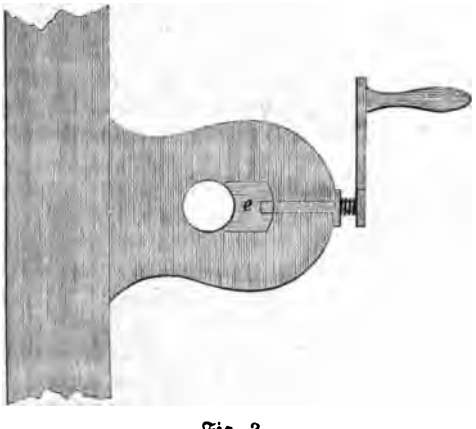


Fig. 3.

der Stange durch die Schraube nicht zu verderben und zugleich der Schraube durch eine größere Reibungsfläche mehr Haltung zu geben, läßt man ihre Endfläche nicht direct auf die Stange wirken, sondern

auf ein nach der Form der Stange gebogenes Plättchen e (Fig. 3); die Länge des Plättchens ist etwas größer als die Dicke des Armes; oben und unten ist es umgebogen und im Holze versichert, so daß es seine Lage unveränderlich beibehalten muß; in der (Fig 3) sieht man nur den außerhalb umgebogenen Theil des Plättchens. Der Arm AB (Fig. 1 u. 2) wird von gutem, hartem Holze gemacht; er ist 0,5 m. lang, 5 cm. dick, in der Mitte, wo die Bohrung zur Aufnahme der Stange angebracht ist, 5 cm. breit; zu beiden Seiten dieser Stelle reichen 2 bis 3 cm. für die Breite aus. Die der Bohrung gegenüber liegende Seite bildet eine ebene Fläche, in deren Mitte der ganzen Länge nach ein 5 mm. dickes, 1 cm. breites Eisenplättchen in das Holz eingelassen wird (Fig. 1); das Plättchen wird mit einigen Holzschräubchen befestigt und ist dazu bestimmt, die fünf Haken aufzunehmen, welche die Fig. 1 zeigt; die Haken haben scharf geschnittene Schrauben, das Eisenplättchen liefert die Muttern dazu. Würden die Haken in Holz geschraubt, so würden sie im Laufe der Zeit lose werden. Der mittelste Haken wird doppelt so groß und stark als die anderen gemacht. An der gegenüberliegenden Seite des Arms werden in jeder Hälfte zwei Hohlkehlen c eingeschnitten (Fig. 2), so weit, daß sie Glasröhren, von den Dicken, die am gewöhnlichsten vorkommen, aufnehmen können. Wenn bei einem Versuche eine Glasröhre eingesetzt ist, so wird sie durch einen vorgelegten Riegel, der sich um eine Schraube in der Mitte dreht und gleichzeitig zu zwei Hohlkehlen dient, darin sicher gestellt.

Um diese bei unzähligen Versuchen nützliche Vorrichtung, die wir künftig die Halterstange nennen, noch weiter anwendbar zu machen, schiebt man noch ein in der Weite der Stange gebohrtes Brett auf diese und läßt es durch den festgeschraubten Arm tragen; es vertritt dann oft die Stelle eines Stativs. Ich habe auch noch ein anderes Brett in der Mitte der einen Seite dicker machen, durchbohren und mit einer starken hölzernen Schraube versehen lassen, um es auch ohne den Arm, für sich auf der Stange befestigen zu können. Ebenso wird man Veranlassung finden, noch andere Apparate oder Theile derselben zum Aufstellen und Festschrauben auf der Stange einrichten zu lassen; auch kann man noch Arme anderer Form zu verschiedenen Zwecken darauf anbringen. z. B. mit Ringen, um Gefäße über einer Flamme darauf zu setzen, andere mit Löchern von verschiedener Weite, um Trichter zum Filtriren, oder auch blos zum Durchgießen, einzusetzen; ja, man wird im Laufe der Zeit noch Veranlassung nehmen, sehr verschiedene Gegenstände an der Halterstange anzubringen, wie die Versuche es gerade erheischen; sie wird dadurch gewissermaßen zu einem Universalstativ, das mir im Laufe der Zeit unentbehrlich geworden ist.

Den Experimentirtisch auf eine Erhöhung über dem Fußboden zu stellen, wie es oft geschieht und noch öfter angerathen wird, kann ich nicht billigen; denn man hat während des Experimentirens oft von einer Seite zur anderen zu gehen, oder Etwas herbeizuholen, muß also manchmal diese Stufe auf- und niedersteigen; das wird aber auf die

Dauer sehr beschwerlich. Der Tisch steht am besten auf dem ebenen Fußboden.

An einer geeigneten Stelle im Lehrzimmer ist auf einem Ständer ein Wasserbehälter von 20—25 Liter Inhalt anzubringen, das mit einem Hahn zum Wasserausfluß versehen ist. Es wird am schicklichsten aus Zink gefertigt, mit Deckel versehen und in- und auswendig mit Oelfarbe angestrichen. Auf einem niedrigeren Absatz des Ständers bringt man eine hölzerne Wanne von etwas größerem Inhalte an, als der Wasserbehälter ist. Diese Einrichtung dient nicht blos dazu, sich nach den Versuchen die Hände zu waschen, sondern auch Gefäße aller Art und sonstige Gegenstände zu reinigen; in der Wanne wird man auch mancherlei Gegenstände mit Wasser übergießen, um sie später desto leichter zu reinigen, andere, um sie auszusüßen, z. B. die galvanischen Elemente u. s. w. Daß man in das Zinkgefäß dergleichen Gegenstände, woran noch Säure haftet, nicht bringen darf, ist selbstverständlich; es ist nur zu reinem Wasser bestimmt, und wird jeden Morgen von der Bedienung mit frischem Wasser gefüllt, die Wanne geleert und gereinigt.

Um bei verschiedenen Versuchen das Zimmer verdunkeln zu können, müssen die Fenster mit dichtschließenden Laden versehen sein, die beim Zumachen sich nach der Fensterseite hin ringsum gegen sorgfältig in eine Ebene gebrachte Leisten anschlagen. Die Laden müssen aus altem, gut ausgetrockneten Holze gemacht werden, weil sie sonst nach kurzer Zeit undicht werden und an den Kanten der Füllungen Licht durchlassen. Zum Verschluß dienen am besten Bajonetstangen, die oben und unten eingreifen und die Laden fest an die Schlußleisten anziehen.

Im Auditorium sollen auch die Lichtversuche angestellt werden; man muß daher eine Einrichtung schaffen, wodurch man ein Lichtbündel horizontal ins Zimmer leiten kann. Da man aber zu Lichtversuchen directes Sonnenlicht bei hohem Stand der Sonne braucht, so sollte das Zimmer, wo diese Versuche gemacht werden, möglichst nach Süden liegen; beim Auf- und Untergang der Sonne ist das Licht zu matt. Damit aber das directe Sonnenlicht in jeder Jahreszeit, auch wenn die Sonne niedrig steht, ein Paar Stunden vor und eben so lang nach der Culmination benutzt werden könne, muß das Zimmer freie Aussicht haben, die nicht durch gegenüberstehende Häuser oder Bäume beschränkt wird. Aus demselben Grunde dürfen sämmtliche Räume für den physikalischen Unterricht nicht ins Erdgeschoß verlegt werden, sondern müssen im zweiten Stock liegen. Da Zimmer im Erdgeschoß immer mehr oder weniger feucht sind, und Feuchtigkeit den Apparaten schadet, so ist dies ein zweiter, zwingender Grund, diese Räume in den zweiten Stock zu verweisen. In eine Lade des zu verdunkelnden Zimmers läßt man ein kreisrundes Loch von 10—12 cm. Durchmesser schneiden, — so groß nämlich, daß man gerade den Heliostat durchschieben kann. Der Heliostat wird mit zwei Schrauben an der Fensterlade von Innen befestigt. Wenn diese im Holze oft ein- und ausge-

schraubt worden, so haben sich die Löcher dermaßen erweitert, daß die Schrauben nicht mehr fassen und die Befestigung unmöglich wird. Man lasse daher gleich von Vornherein, den Löchern in der Heliostatplatte entsprechend, zwei 8mm. dicke Eisenstücke in das Holz ein und schneide Gewinde in dieselben, so werden die Schrauben auf alle Zeiten ihre Dienste thun. Wenn indeß das Holz der Laden Anfangs noch frisch war, so schwindet es im Laufe der Zeit und es werden dann die Eisenstücke durch das Holz genöthigt, ihre gegenseitige Lage zu verändern, also auch nicht mehr auf die Löcher in der Heliostatplatte passen; man muß dann die Eisenstücke verschieben, was seine Schwierigkeiten hat, da sie sich kaum wieder festmachen lassen. Es ist daher noch besser, eine Eisenplatte, welche beide Löcher aufnehmen kann, etwa einen kreisförmigen Ring, in das Holz einzulassen; dieser würde für alle Zeiten unveränderlich bleiben. Um das Zimmer auch dann, wenn nicht der Heliostat in die Lade eingesetzt wird, völlig verdunkeln zu können, wird in das eingeschnittene Loch eine passende Holzplatte eingesetzt, diese mit einer Eisenplatte überdeckt, so daß der Rand über den des Loches überfaßt und in einen Falz einfällt, um mit dem Holze in eine Ebene zu kommen; diese Ausfüllung wird von Hinten mit ein paar Riegeln befestigt.

Nach dem jetzigen Standpunkte der Physik ist es durchaus erforderlich, daß in Räumen, wo physikalische Versuche angestellt werden sollen, eine Gasleitung vorhanden sei. Einmal erleichtert das Gas das Erhitzen von Gegenständen und ist billiger als Alkohol; dann aber können viele jetzt nicht mehr zu entbehrende Versuche nur mittelst Gas angestellt werden und müssen unterbleiben wenn dieses fehlt. Außer den Brennern zur Erleuchtung des Zimmers bringt man an dem Gasarm über dem Experimentirtisch noch zwei oder drei kurze Röhren mit Hähnen und Schraube an und schraubt, wenn das Gas gebraucht werden soll, lackirte Gummiröhren an, die inwendig der ganzen Länge nach mit einer steifen Spiralfeder versehen sind und an jedem Ende eine entsprechende Metallfassung mit Schraube haben. Es sind dies die Röhren, die von den Fabrikanten zu transportabeln Gaslampen geliefert werden; sie bewähren sich in jeder Beziehung ganz vorzüglich.

Neben der für den Unterricht nöthigen Wandtafel hänge ich im Lehrzimmer noch ein Tableau der neueren Maße und Gewichte nebst ihren Verhältnißzahlen zu den früheren deutschen und einigen ausländischen an einer geeigneten Stelle auf; die tägliche Anschauung prägt sie den Schülern nach und nach ein; überdies hat man so bei vorkommenden Berechnungen die erforderlichen Zahlen stets zur Hand.

Es wird sich bald die Nothwendigkeit herausstellen, das physikalische Lehrzimmer nur für den physikalischen Unterricht zu reserviren, wenigstens keinen anderen Lehrer Unterricht darin ertheilen zu lassen, da sonst mancherlei Inconvenienzen daraus hervorgehen möchten. Daß nicht auch etwa der chemische Unterricht darin ertheilt werden kann, ist einleuchtend, weil die den Instrumenten schädlichen Dämpfe nicht zu

vermeiden sind, dieser Gegenstand aber auch wieder ganz andere Einrichtungen erfordert.

2. Das Cabinet.

Wenn man bei der Vertheilung der Räume eine Wahl hat, so verlegt man das Cabinet, d. h. das Zimmer, wo die Instrumente aufbewahrt werden, am besten nach Osten, weil dies die Himmelsgegend ist, wo bei uns am wenigsten Regen herkommt; die West- und Nordseite machen allemal die Zimmer feucht, und Feuchtigkeit schadet sowohl den hölzernen, wie stählernen und eisernen Theilen der Apparate. Das Zimmer muß wenigstens durch Vorhänge gegen directes Sonnenlicht geschützt werden können. Besser ist es jedenfalls, dasselbe ebenso, wie das Lehrzimmer, mit dichtschließenden Laden zu versehen. Es liegt zuweilen das Bedürfniß vor, einen Versuch im Dunkeln nicht im Lehrzimmer, sondern im Cabinet anzustellen. Es können hiezu verschiedene Gründe vorhanden sein. Gewisse Instrumente, wie z. B. die Luftpumpe, werden im Cabinet ein für allemal an den Fußboden festgeschraubt, die Versuche damit werden dann an Ort und Stelle angestellt; handelt es sich nun etwa um elektrische Lichtversuche im luftverdünnten Raume, so müssen die im Cabinet angestellt werden, das also zum Verdunkeln eingerichtet sein muß. Manchmal ist es nöthig, die zu einem Versuche erforderliche Zusammenstellung nicht in dem Lehrzimmer, sondern im Cabinet zu machen; wenn denn die daran geknüpften Versuche ein dunkles Zimmer erfordern, so muß eben auch das Cabinet verdunkelt werden können. Endlich ist es oft wünschenswerth, daß man zu manchen, namentlich optischen Versuchen, über einen größeren Raum gebieten könne als ein einzelnes Zimmer geben kann. Wenn Lehrzimmer und Cabinet zusammenstoßen, was auch aus anderen Gründen geboten ist, so ist diesem Bedürfniß genügt; es würde dies aber Nichts nützen, wenn nicht auch das Cabinet verdunkelt werden könnte. Wenn es nicht möglich ist, das Cabinet nach der Ostseite zu verlegen, so sorge man doch dafür, daß das Zimmer, wo die Lichtversuche angestellt werden sollen, nach der Südseite, mit freier Aussicht, liege. Es ist unerläßlich, daß das Cabinet an das Lehrzimmer anstoße, so daß die Instrumente von einem ins andere nicht erst durch ein zwischenliegendes Local getragen zu werden brauchen; einmal wäre Mühe und Zeitverlust damit verknüpft; dann aber würden die Instrumente im kalten Zwischenraum selbst kalt und im warmen Lehrzimmer mit Wasserdämpfen beschlagen.

Sämmtliche Apparate, mit Ausnahme einiger größerer, wie die Fallmaschine, Elektrisirmaschine ꝛc., werden in Schränken aufbewahrt. Die oberen Theile der Vorderwände solcher Schränke werden aus großen Glasscheiben gemacht, die unteren aus hölzernen Füllungen. Glasscheiben würden unten vielen Zufällen ausgesetzt sein; dann aber giebt es in jeder Apparatensammlung immer einige Gegenstände, welche gerade nicht schön aussehen, aber deshalb doch auch nicht fehlen dürfen. Man

wird also die schöneren, mehr ins Auge fallenden Sachen oben hinter Glasthüren, die weniger ansehnlichen unten hinter undurchsichtigen Wänden anbringen. Diese unteren Räume eignen sich auch am besten zum Unterbringen von mancherlei Vorräthen von Glas, Porzellan, verschiedenen Consumtibilien u. s. w.: man darf jedoch in die Nähe der Instrumente, d. h. in dasselbe Zimmer mit diesen, nur solche Gegenstände bringen, die nicht durch schädliche Ausdünstungen den Apparaten schaden.

Eine schickliche Höhe für diese Schränke dürfte 2,5$^{m.}$ sein, ihre Tiefe kann wohl 60 bis 80$^{cm.}$ betragen; man muß sich hierin nach den localen Verhältnissen richten: wesentlich ist, daß die Schränke recht solide gebaut seien; die Abtheilungen im Inneren werden mit 3$^{cm.}$ dicken, glatt gehobelten tannenen Brettern gemacht. Sie können nun entweder fest oder beweglich sein; ersteres hat die Solidität für sich, letzteres gewährt den Vortheil, die Fächer nach der Höhe der Instrumente einzurichten. Bewegliche, auf bloße Leisten aufgelegte Bretter werden sich aber im Laufe der Zeit unfehlbar verziehen, sich krümmen, wo dann alle Festigkeit verloren ist; kein Instrument steht in solchem Schranke richtig und gewiß nie sicher. Dagegen können die fest eingestemmten Abtheilungsbretter sich nie verziehen; wie sie einmal gemacht sind, so bleiben sie. Ich ziehe daher feste Abtheilungen den veränderlichen vor und sehe gern von dem Nachtheil ab, welchen die einmal gegebene Höhe der Fächer mit sich bringt. Für feste Abtheilungen dürften dann 50—60$^{cm.}$ eine schickliche Höhe der Fächer abgeben; einzelne können auch etwas niedriger werden, wie die ganze Höhe der Schränke es gerade mit sich bringt.

Der Verschluß der Schränke an der Vorderseite kann durch sich in Bändern oder Gewinden drehende, oder durch Schiebethüren bewirkt werden. Einige sind entschieden für jene, ich dagegen ebenso entschieden für diese, nachdem ich durch langjährigen Gebrauch beide Systeme habe kennen lernen. Die drehenden Thüren nehmen, wenn sie offen stehen, zu viel Raum ein, der doch in der Regel in solchen Zimmern nur beschränkt ist, und können sehr hinderlich werden, wenn man nach einander mehrere Instrumente an verschiedenen Stellen herauszunehmen oder hineinzusetzen hat; das jedesmalige Zumachen wird lästig und unterbleibt deshalb wenigstens während des Arbeitens. Schiebethüren stehen nie im Wege und gestatten selbst das Auf- und Zumachen mit viel geringerer Mühe. Sie müssen aber freilich sehr sorgfältig gemacht werden, damit sie sich nicht klemmen. In dem Falz, in dem sie unten laufen sollen, wird der Länge nach ein Rundeisen von 6$^{mm.}$ Durchmesser befestigt; jede Thür erhält an der unteren Kante zwei eiserne Rollen, deren Umfänge hohl ausgedreht sind, so daß sie auf dem Rundeisen bequem laufen können; sehr glatt dürfen weder die Rollen noch der Draht sein, weil sonst ein bloßes Schleifen der Rollen, kein Drehen eintreten würde; die wälzende Reibung an den Umfängen muß größer sein als die Reibung an den Rollenachsen. Sind die Thüren recht

gerade, die Holzarbeit überhaupt accurat gemacht und ist das Holz von Anfang an trocken gewesen, so schieben sich solche Thüren mit der größten Leichtigkeit. Klemmen sie sich ja einmal, so liegt es entweder am Verziehen des Holzes, oder an dem Versacken einer der Gebäudewände oder des Fußbodens; in solchem Falle würden auch andere Thüren nicht schließen. Allerdings können solche Thüren, da sie an einander vorbei geschoben werden müssen, nicht absolut dicht schließen; aber Staub lassen auch andere Schränke durch, und man wird, in einem wie im anderen Falle, immer alle paar Jahre einmal alle Instrumente von Staub befreien müssen.

Steht eine längere Zimmerwand zur Disposition, so fülle man sie mit einem zusammenhängenden Schrank aus. Ein solcher breiterer Schrank muß dann aber nothwendig im Inneren noch vertical stehende Abtheilungswände haben, um den der Länge nach fortlaufenden Bretterböden zur Stütze zu dienen, da sie sich sonst unfehlbar krümmen würden; auch müssen gegen den untersten Boden an verschiedenen Stellen Füße angebracht werden, weil sonst den unteren Theilen dasselbe widerfühe. Die Schieber solchen größeren Schrankes müssen sich alle an einander vorbeischieben lassen, so daß man eine beliebig große Oeffnung aufhalten kann, um auch größere (längere) Instrumente bequem hineinsetzen und herausnehmen zu können.

Natürlich wird man für jede Apparatensammlung an öffentlichen Instituten jährlich eine etatmäßige Summe bewilligt erhalten, und der Apparat wird von Jahr zu Jahr an Umfang zunehmen, der Raum wird daher mit der Zeit knapper werden. Man muß also von Vorn herein darauf Bedacht nehmen, den Raum in den Schränken zu sparen; dies kann namentlich dadurch geschehen, daß man diejenigen Gegenstände, die sich irgendwie an den Schrankwänden anbringen lassen, nicht auf die Böden der Schrankfächer hinlegt, sondern an Stifte und Schrauben, die man an den Wänden und Decken der Fächer befestigt, aufhängt. Aber wenn man nicht besonders die Forderung stellt, daß die Rückwände der Schränke aus starken Brettern gemacht werden sollen, pflegen die Tischler sie aus bloßen Spänen zu machen, in denen weder Schrauben noch Nägel Haltung finden. Muß man schon vorhandene Schränke gebrauchen, die so dünne Rückwände haben, so lasse man an der Rückwand in jedem Fach eine Leiste anbringen, in die man dann beliebig Haken einschrauben kann. Auch an der unteren Fläche der Abtheilungsbretter lassen sich Schrauben anbringen, an denen sich Manches aufhängen läßt. Zu Instrumenten, welche wegen ihrer Höhe in den Schrankfächern keinen Platz finden, setzt man etwa an die Fensterpfeiler, oder wo sonst Raum ist, schmälere, aber hinreichend hohe Schränke, in welchen dem Zweck entsprechende Abtheilungen gemacht sind.

Im Cabinet muß ferner ein Tisch vorhanden sein, um theils augenblicklich die Instrumente vor und nach dem Versuche hinstellen zu können, theils aber auch, um darauf die Zusammenstellung zum Versuche zu machen. Bei manchen Versuchen, z. B. bei den Spiegelversuchen

über die Reflexion des Lichts, der Wärme, des Schalles u. a., dürfte der Experimentirtisch im Lehrzimmer nicht wohl zu gebrauchen sein; man wird daher den Tisch im Cabinet so lang einrichten als der Raum es gestattet. Einen Raum für Gegenstände, die gerade nicht ängstlich verschlossen und gegen Staub gesichert zu sein brauchen, verschafft man sich durch einen unter dem Tisch etwa 10$^{cm.}$ über dem Fußboden der ganzen Länge und Breite nach angebrachtes Brett; gewisse zusammengehörige Dinge lassen sich in Kasten aufbewahren, die dann hier Platz finden können. Was man an eigentlichen Instrumenten außerhalb der Schränke aufzustellen genöthigt ist, sollte indeß durch irgend eine Hülle gegen Staub gesichert werden, so z. B. die Elektrisirmaschine; man überdeckt sie mit einem Stück Baumwollenzeug, oder läßt sich einen mit Zeug überklebten Rahmen machen und stülpt ihn darüber. Zur Aufnahme solcher Gegenstände findet sich wohl im Cabinet noch irgend ein Platz, wo ein Tisch, worauf sie gestellt werden, hingesetzt werden kann.

Wegen der Höhe der Schränke, aber auch bei verschiedenen Versuchen, wird man eines Trittes von etwa vier Stufen bedürfen.

Auch das Cabinet muß mit Gas erleuchtet werden können. Welche weiteren Einrichtungen zu etwaigen Versuchen man darin zu treffen habe, hängt davon ab, was man in diesem Raume vorzunehmen gedenkt oder durch die Umstände vorzunehmen genöthigt wird. Es dürfte sich empfehlen, einen Arm der Gasleitung nach der Mitte über dem Tisch zu führen, da ein Paar Brenner zur allgemeinen Erleuchtung des Zimmers anzubringen, hier aber wieder, wie im Lehrzimmer, zwei oder drei Röhren mit Hähnen anzufügen, von wo dann durch Schläuche das Gas nach jedem Theil des Tisches geleitet werden kann.

Aus den im Vorigen aufgezählten Bedürfnissen, welche sich für das physikalische Cabinet geltend machen, mehr aber noch aus den im Verlaufe dieses Werkes anzugebenden Versuchen ergiebt sich, daß dieses Zimmer eine bedeutende Ausdehnung haben muß, wenn es seinem Zwecke entsprechen soll. Man wird sich freilich in die Umstände fügen müssen; wo aber die Einrichtung dem Bedürfniß entsprechend gemacht werden kann, würde ich eine Tiefe von 6$^{m.}$ und eine Länge von 9—10$^{m.}$ verlangen. Die Wände werden dann den wünschenswerthen Raum zu Schränken bieten, in der Mitte wird Raum für die frei aufzustellenden Apparate sein, so wie für einen geräumigen Tisch, um solche Versuche anzustellen, die eine Aufstellung von einander ententfernter Apparate verlangen. Bei einem Neubau eines Schulhauses oder anderen zu naturwissenschaftlichen Zwecken bestimmten Gebäudes kann leicht diesen Forderungen genügt werden.

3. Der Arbeitsraum.

Der Arbeitsraum ist ein Zimmer, in welchem alle die Arbeiten vorgenommen werden, welche theils die Versuche, theils die Instandhaltung und Zusammensetzung der Apparate erfordern; von diesen

Arbeiten wird weiter unten die Rede sein. Es kann dies ein beliebiges Zimmer sein, nur ist wünschenswerth, daß es in der Nähe des Cabinets liege. Was seine Einrichtung anlangt, so ergiebt sie sich aus den Gegenständen, die darin aufbewahrt, und den Arbeiten, die darin verrichtet werden sollen.

II. Von den neben den Apparaten erforderlichen Gegenständen.

Außer den eigentlichen Apparaten sind sowohl zu einem gedeihlichen Studium der Physik, wie zum Unterricht in derselben noch gar viele andere Dinge erforderlich. Einerseits sind mancherlei technische Arbeiten nicht zu vermeiden, ja unumgänglich nöthig, und zu diesen braucht man Werkzeuge, von denen also hier ebenfalls die Rede sein muß; andererseits gebraucht man zu den Versuchen, und auch zu vielen der vorzunehmenden Arbeiten, verschiedene Stoffe, die wir im Folgenden Consumtibilien nennen werden.

1. Von den Werkzeugen.

Je nach der Ausdehnung, die der Lehrer der Physik, oder wer sonst sich mit physikalischen Arbeiten beschäftigt, seinen technischen Arbeiten geben will, wird die Sammlung von Werkzeugen eine mehr oder weniger vollständige sein können; die vorhandene Zeit, die pecuniären Mittel und die eigene Lust des Betreffenden zu dergleichen Arbeiten können allein Maß und Ausdehnung der Sammlung von Werkzeugen bestimmen. Wir nennen hier folgende Werkzeuge:

Ein Hammer von 100 gr. Gewicht

Ein desgl. von 600—700 gr. Gewicht.

Die eine Bahn dieser Hämmer ist geradlinig, die andere quadratisch und etwas gewölbt; beide Bahnen sind verstählt.

Ein hölzerner Hammer von hartem Holze, mit Bahnflächen von etwa 5 cm. Durchmesser.

Zwei flache Feilen von verschiedener Größe und gröberem und feinerem Hieb.

Zwei halbrunde Feilen.

Eine runde Feile.

Eine dreieckige Feile.

An Feilen liefert die englische Industrie zur Zeit noch die besten Artikel.

Vier Schraubenzieher von verschiedener Größe; die Hefte achteckig. (Fig. 4.)

Fig. 4.

Ein größeres Messer von etwa 14 cm. Länge.
Eine kleineres Messer. (5 cm.)
Eine Pincette von Stahl. (Fig. 5.)

Fig. 5.

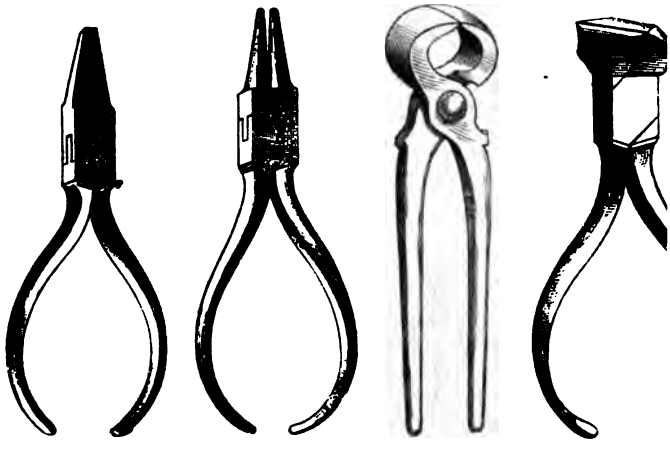


Fig. 6. Fig. 7. Fig. 8. Fig.

Eine Flachzange. (Fig. 6.)
Eine Drahtzange. (Fig. 7.)
Eine Beißzange (Fig. 8.); sie dient z. B. zum Nägelau und sollte am Maul gut verstählt sein und scharfe Lippen hab aber nicht zu hart sein dürfen.
Eine Kneifzange (Fig. 9.); sie dient, Draht abzukneifen also harte Lippen haben; man darf sie aber nicht zum Ausziehn Nägeln gebrauchen, weil sie dann sofort ausbricht.
Eine gewöhnliche Scheere.
Eine Blechscheere (Fig. 10.), ebenfalls sehr hart und mi Feder zwischen den Griffen, damit sie sich von selbst wieder öffn

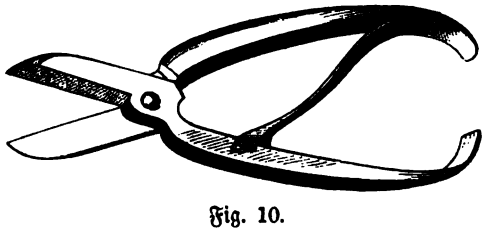


Fig. 10.

Ein Blasrohr (Fig. 11.), ganz einfach, dient, um eine Flamme zu größerer Hitze anzufachen.

Ein Spatel von Eisen.

Ein Hornlöffel. Ein Löffel von Neusilber.

Ein Schmelzlöffel von Eisen mit hölzernem Griff am Ende des Stiels.

Ein Diamant zum Glasschneiden, der eigentliche Glaserdiamant.

Ein Schreibdiamant; er ist ebenso gefaßt wie der Schneidediamant, aber ritzt das Glas blos, weil er nur aus einem Splitter besteht, nicht die eigentlich schneidende Kante hat. Er dient, um Theilungen, Ziffern ꝛc. in Glas einzuritzen.

Fig. 11.

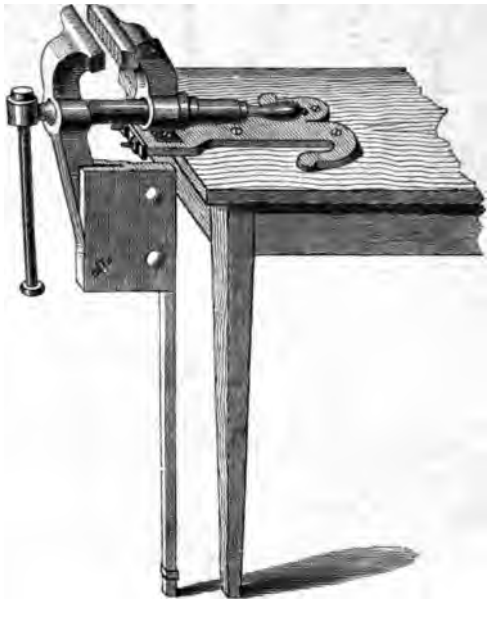


Fig. 12.

Ein Schraubstock von 10—12 kgr. Gewicht. (Fig. 12.) Er wird mit einigen Schrauben an einem festen Tisch befestigt und sollte mit der Stange auf die Erde reichen; die Backen müssen hart sein, das Maul muß einen scharfen Hieb haben.

Ein Schraubkloben. (Fig. 13.) Die Backen müssen scharf einander schließen und einen scharfen Hieb haben.

Ein kleiner Amboß, wird am Experimentirtisch befestigt.

Ein gewöhnlicher Zirkel mit geraden Spitzen.

Ein gerader Zirkel mit Schraubenstellung. (Fig. 14.)

Ein Tasterzirkel (Rundzirkel) mit Schraubenstellung. (Fig.

Ein Stangenzirkel mit hölzernem Prisma. (Fig. 16.) D Prisma muß oben, wo die Schrauben a, a angreifen, der ganzen Lä nach mit einer Metallplatte überdeckt sein.

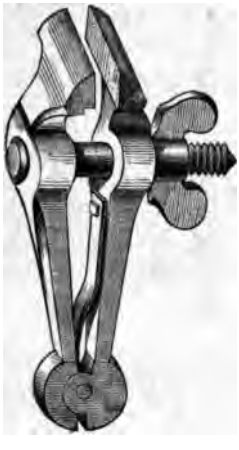


Fig. 13.

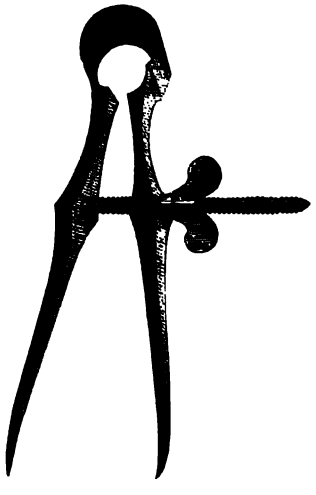


Fig. 14.

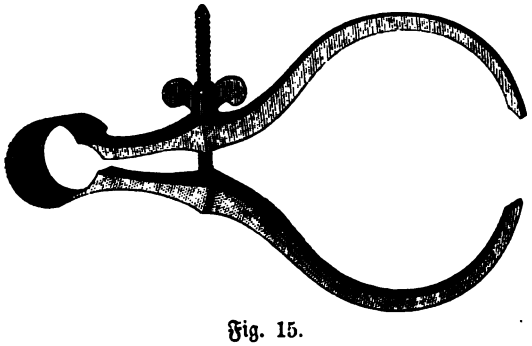


Fig. 15.

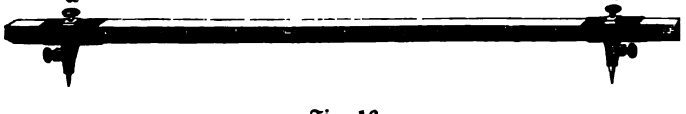


Fig. 16.

Eine Tiegel- oder Kohlenzange. (Fig. 17.)

Eine Laubsäge mit Bügel. (Fig. 18.) Man muß feinere und gröbere Sägeblätter haben.

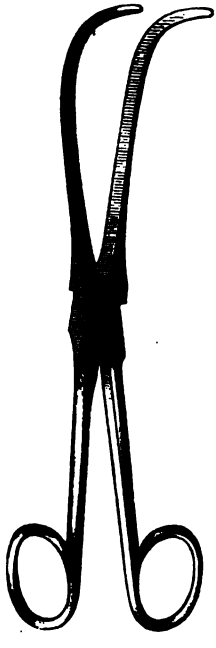


Fig. 17.

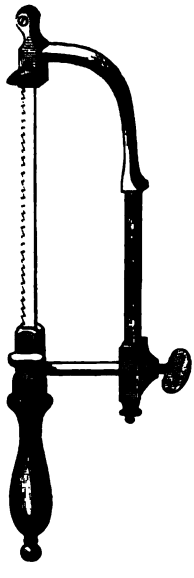


Fig. 18.

Fig. 19.

6 Stück Korkbohrer. (Fig. 19.) Es sind dies Messingröhrchen mit durchbohrten Köpfen, deren untere Ränder scharf sind und in Kork einschneiden; der Stift a wird durch den Kopf gesteckt und dient als Griff. Zur Aufbewahrung können sie in einander geschoben werden.

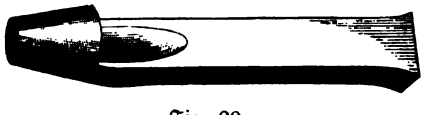


Fig. 20.

6 Stück Locheisen (Fig. 20.), um in Leder, Papier, Pappe ꝛc. runde Löcher auszuschlagen; beim Gebrauche muß man eine Unterlage von Blei oder Zinn nehmen. In Ermangelung derselben reicht auch Hirnholz aus, wenn das Holz hart ist.

Eine kleine Strohdecke, um heiße Gläser darauf zu stellen.

Mehrere feine Haarpinsel.

Borstenpinsel mit langen hölzernen Griffen, die in Gefäße hineinreichen, zum Reinigen von Gefäßen.

Ständer mit nach der Höhe verschiebbarer horizontaler Platte (Fig. 21); man gebraucht mehrere von verschiedener Höhe.

Retortenhalter (Fig. 22.); ab ist der Filtrirarm, cd die Korkzange. Solche Halter ohne den Arm ab, blos mit Korkzange cd, kann man mehrere gebrauchen; der Fuß muß schwer sein, am besten von Gußeisen.

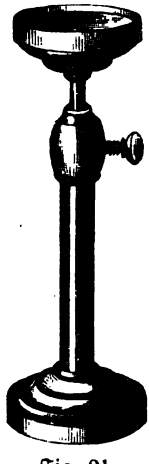


Fig. 21.

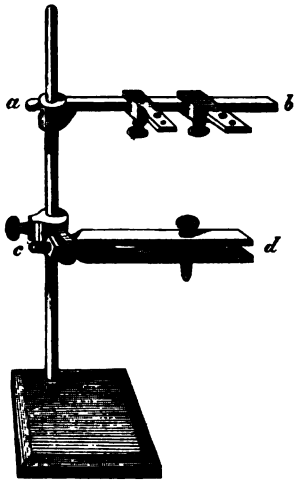


Fig. 22.

Korkzangen in der Form der (Fig. 23.), wo die Zange cd bei e noch ein Gelenk hat, auch im Fuß verschoben und durch die Schraube a festgestellt werden kann.

Gummiröhren. Hier sind zunächst die oben schon angeführten größeren Schläuche mit Fassungen zu nennen, wodurch das Gas von der Leitung nach den Instrumenten (Lampen) geführt wird. In (Fig. 24.) stellt A eine solche Röhre, von a bis b im Durchschnitt vor; die Flügelschraube aa, welche den Schlauch umfaßt, kann bis an die Fassung bb verschoben werden; nähert man dann den Schlauch A der Röhre B, welche als Zuleitungsrohr zu einer Lampe dient, so läßt sich die Mutter aa über die Spindel cc schrauben, während bb in das Rohr cc hineinreicht; zieht man dann die Schraube aa an, so schließt das Gewinde gasdicht; sollte man noch Gas riechen, so lege man in die Höhlung von cc ein paar Lagen weicher Lederscheiben, die in der Mitte mit dem Locheisen durchgeschlagen sind. Ich habe mir auch einige Ansatzröhren wie C machen lassen, wo auf mm die Schraube aa (von A) paßt und auf das eiserne Rohr ein engerer Gummischlauch aufgezogen wird. — Neben diesen Hauptleitröhren braucht man noch andere, engere und weitere, Gummiröhren. Es giebt deren theils von rohem

Gummi, theils von vulcanisirtem. Erstere sind dehnbarer und schließen sich sehr gut an Röhren an, über die man sie überzieht, halten auch lange vor, aber sie können keine große Hitze vertragen. Man kann sie sich aus Gummiplatten auch selbst anfertigen, wenn man einen Streifen Gummi um einen Dorn von der Dicke, die der Weite der Röhre fast gleichkommt, biegt und die Ränder, etwas warm gemacht, zusammendrückt. Röhren aus vulcanisirtem Gummi bekommt man von jeder Weite, sie vertragen auch mehr Hitze; sind sie etwas hart und starr, so muß man sie durch Binden fester andrücken. Man muß aber im Ankauf sehr vorsichtig sein, da bei weitem die meisten Sorten, die beim Handel vorkommen, unbrauchbar sind, indem sie, längere Zeit aufbewahrt, auch ohne gebraucht worden zu sein, bei jeder Biegung durchbrechen; streift man sie über ein Rohr, so platzen sie sofort. Röhren, die beim Ankauf, also auf dem Lager des Händlers, steif und hart sind, taugen nicht; im Uebrigen ist es schwer, die guten von den schlechten zu unterscheiden; man wird wohl thun, sogleich sie zu biegen, auf etwas dickere Dornen oder Röhren aufzuzwängen und zuzusehen, ob sie dies aushalten. Eine sichere Probe ist dies freilich nur für den Augenblick; bewahrt man sie länger auf, so können sie doch wieder schlecht aus-

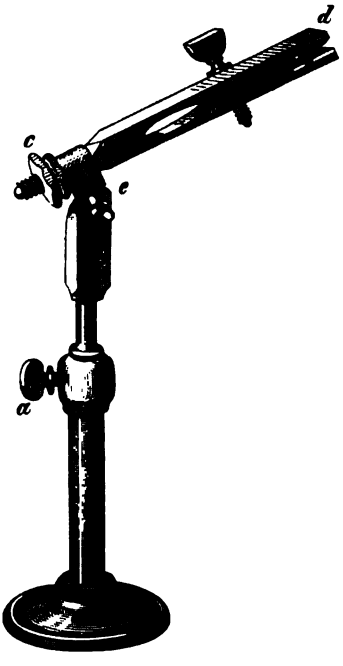


Fig. 23.

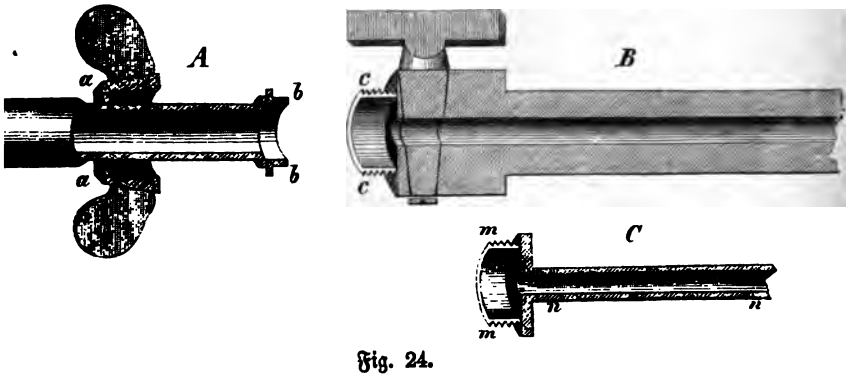


Fig. 24.

fallen. Namentlich vertragen viele die Frostkälte nicht. Am besten bewähren sich die, welche aus gewebtem Zeug und vulcanisirtem Gummi gemacht sind, sie sind weich und biegsam und halten meist lange Zeit vor. Man wird wohl thun, zum erstenmal von einer anscheinend guten Sorte nur eine kleine Quantität zu kaufen und abzuwarten, wie sie die Zeit ausdauert.

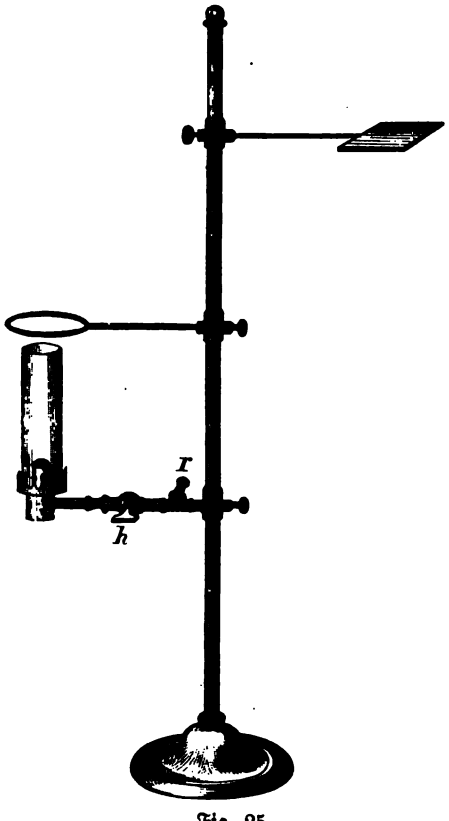


Fig. 25.

Ein vorzügliches Hülfsmittel für viele Zwecke sind mir zwei eiserne Ständer wie (Fig. 25.) Auf einem schweren, abgedrehten, eisernen Fuß von 17 cm. Durchmesser erhebt sich eine eiserne Stange von genau derselben Dicke wie die Halterstange am Experimentirtisch, so daß dieselben Gegenstände mit ihren Hülsen auf beide passen; die Stangen können auch gleiche Länge mit der Halterstange haben. Auf diese Stange wird zunächst eine Gaslampe mit Argandbrenner und Glascylinder geschoben und durch die Druckschraube in beliebiger Weise festgemacht. Sie erhält das Gas aus der Leitung mittelst einer der steifen, lackirten Gummiröhren; zu diesem Zweck ist die Lampe noch mit einem Rohr versehen, auf welches die Schraube des Schlauches aufgesetzt werden kann. Um die Flamme reguliren zu können, ohne nach der Hauptleitung zu gehen, hat das Zuleitungsrohr der Lampe selbst einen Hahn h. Die Flammen dieser zwei Lampen dienen, da sie an beliebige Stellen gebracht werden können, zur Erleuchtung des Zimmers sowohl als zu vielen Versuchen. Auf dieselben Stangen können ferner alle die Gegenstände aufgesetzt werden, welche zur Halterstange passen und dort erwähnt worden sind, und da man, wenn nur die Schläuche lang genug sind, in Bezug auf die Localität wenig, für Zwecke, wobei die Gaslampen nicht gebraucht werden, in ihrer Verwendung gar nicht

beschränkt ist, so gehören diese Ständer zu den nützlichsten Hilfsapparaten; hat man sich einige Zeit hindurch daran gewöhnt, so werden sie Einem geradezu unentbehrlich.

Außer diesen eigentlichen Werkzeugen müssen noch verschiedene Glas-, Porzellan- und sonstige Gefäße, so wie einige andere Gegenstände stets zur Hand sein; man muß sie daher immer in Vorrath halten. Es wird wohl keinen Anstoß erregen, wenn ich sie mit unter die „Werkzeuge" (im weiteren Sinne) rangire. Die wesentlichsten sind:

Bechergläser von verschiedener Größe (Fig. 26.); sie müssen einen dünnen Boden haben, der überall gleichmäßig und glatt ist.

Probir- oder Reagenzgläser (Fig. 27.) von $^1/_2$ bis $1^{cm.}$ Weite und $10—15^{cm.}$ Länge; sie sind am einen Ende verschlossen, am offenen Ende ist der Rand etwas auswärts gebogen, und dienen dazu, kleinere Mengen Flüssigkeit darin zu erhitzen. Wie beim Glas überhaupt, so

Fig. 26.

Fig. 27.

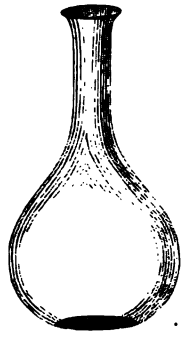


Fig. 28.

Fig. 29.

muß man sich auch bei diesen, ehe man sie an die Flamme bringt, überzeugen, daß außen am Glase keine Flüssigkeit anhängt, weil das Glas sonst springt. Man trockne das Glas mit einem Tuche ab und nähere es der Spiritusflamme, indem man nach und nach alle Theile ringsum den Boden an die Außenseite der Flamme hält, das Glas im Kreise herumführend; wenn es heiß geworden, kann man es auch gerade über die Flamme halten. Wenn eine Flüssigkeit im Probirröhrchen kocht, so ist es durch den Dampf auch oben, wo es gehalten wird, heiß geworden und man kann es dann nicht mehr mit den bloßen Fingern halten; dann steckt man das Gläschen in eine vom Fuß abgenommene Korkzange, oder man faltet ein Stück Papier wie zum Fidibus zusammen, legt den Streifen oben um das Röhrchen und faßt beide Papierenden fest zusammen.

Kochflaschen (Fig. 28.) haben, wie die Bechergläser, ebenen Boden von dünnem Glase und können, wie diese, ohne Halter auf einen Ring über das Feuer gesetzt werden.

Kolben (Fig. 29.) sind am Boden gewölbt, müssen also gehalten

werden. Um eine Flüssigkeit in Kochflaschen oder Kolben (auch Bechergläsern) zu erhitzen, muß man dieselbe Vorsicht beobachten, wie bei den Probirgläsern; man trocknet sie ab und giebt ihnen nur sehr schwaches Feuer, allenfalls aus größerer Ferne, indem man die Lampe tief herunter schraubt und nur allmählig höher herauf, näher an das Glas bringt.

Um diese Gefäße zu erhitzen, setzt man sie entweder über freies Feuer auf einen Ring der Lampe, oder wenn dieser für das Gefäß zu groß sein sollte, auf ein aus allenfalls doppelt gewundenem Draht gemachtes Dreieck (Triangel), woran die drei Ecken rechwinklig umgebogen sind (Fig. 30.). Der Triangel wird gerade so zu einem Ring der Lampe passend gemacht, daß er, aufgelegt, sich nicht verschieben kann. Oder man erhitzt das Glas in einer Sandcapelle: in eine fast halbkugelförmige Schale von Eisenblech, die Sandcapelle, wird trockener Sand gefüllt, die Schale auf einen Ring der Lampe gesetzt

Fig. 30.

Fig. 31.

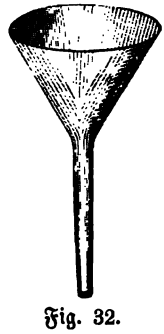


Fig. 32.

und das Gefäß mit seinem Inhalt auf den Sand. Das Erhitzen geht hier zwar langsamer von Statten, aber sicherer.

Flaschen mit eingeschliffenen (eingeriebenen) Glasstöpseln von etwa 120 bis 150 gr. Wasserinhalt, d. h. so groß, daß sie so viel Wasser fassen.

Standflaschen von 500—600 gr. Inhalt, ebenfalls mit eingeriebenen Glasstöpseln.

Pulvergläser (Fig. 31.) mit Glas- oder Korkstöpseln.

Glastrichter. (Fig. 32.) Man muß darauf achten, daß sie die rechte Form haben, damit das auf gewöhnliche Weise zum Filtrum zusammengelegte Papier sich ringsum genau an die Wand des Trichters anlege, weil, wenn das Papier hohl liegt, es durch den Druck der Flüssigkeit reißen kann. Um ein Filtrum zu machen, faltet man ein quadratisches Stück guten Löschpapiers, dessen Seite zweimal so lang ist als die Seitenlinie der Trichterwand, zweimal so, daß beide Biegungen aufeinander senkrecht stehen und das gefaltete Papier wieder quadratisch ist, schneidet es zum Quadranten und öffnet es in der Weise zu einem Hohlkegel, daß einerseits ein einfaches, andererseits ein

dreifaches Blatt zu liegen kommt; der Winkel an der Spitze des Kegels wird dann = 60° und muß so in den Trichter hinein passen.

Größere Trichter wählt man von Porzellan.

Ein eiserner Mörser mit Pistill, inwendig glatt ausgedreht.

Ein Porzellanmörser mit Pistill.

Kleinere und größere Porzellanschalen, flach und mit ebenem Boden. Manche haben gewölbten Boden, weil sie zum Erhitzen von Flüssigkeiten, Abdampfen ꝛc. dienen sollen; das ist besonders für chemische Zwecke; für physikalischen Gebrauch sind ebene Böden vorzuziehen, damit sie feststehen.

Porzellan-Casserollen mit Griff und Ausguß. (Fig. 33.)

Zwei Casserollen von Weißblech mit Ausguß und Deckel,

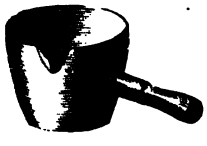


Fig. 33.

Fig. 35.

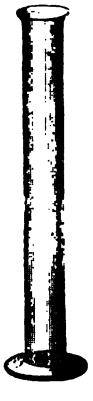


Fig. 34.

Fig. 36.

resp. 1 und 2 Liter haltend. Da Wasser darin erhitzt wird, müssen sie hölzern Griffe haben.

Einige etwa 1 Liter fassende Gläser mit weiten Oeffnungen; man kann gedrehte Holzdeckel darauf setzen; besser sind Glasstöpsel.

Mehrere Glascylinder mit Fuß. (Fig. 34.)

Mehrere Töpfe von Porzellan mit Henkel und Ausguß, von 100 gr. bis zu 1 kgr. Inhalt.

Hier mögen nun die verschiedenen Lampen Erwähnung finden, die bei physikalischen Versuchen gebraucht werden.

Die kleine Spirituslampe, die aus Glas oder Messing gemacht sein kann. (Fig. 35.)

Die Berzelius'sche Lampe mit doppeltem Luftzug. (Fig. 36.) Ihre Einrichtung ist bekannt.

Die Gaslampe mit Bunsenscher Flamme. Das gewöhnliche Leuchtgas (Kohlenwasserstoffgas) verzehrt nicht alle darin enthaltene Kohle, die glühenden Kohlentheilchen schweben in der Flamme und bewirken das Leuchten derselben; sie steigen, durch den Luftzug getrieben, in die Höhe und setzen sich als Ruß an die über der Flamme zu erhitzenden Körper an. Zu den inneren Theilen des Gasstromes kann die Luft nicht hinzukommen, also fehlt diesen Theilen der zum Verbrennen nöthige Sauerstoff, es verbrennen blos die außen an der Flamme befindlichen Kohlentheile, während der aufsteigende Wasserstoff beim Verlassen der Flamme, wegen seiner leichten Entzündlichkeit noch meist verbrennen mag; aber von der dadurch erzeugten Hitze wird ein großer Theil darauf verwendet, die Kohle im Glühen zu erhalten. Die Flamme ist daher nicht sehr heiß und rußt. Führt man aber dem Gase, ehe es aus dem Brenner strömt, atmosphärische Luft zu, so erhält es dadurch mehr Sauerstoff, die Kohle verbrennt auch im Innern der Flamme vollständig, die Flamme wird heißer und rußt nicht, leuchtet nun aber, weil die glühenden Kohlentheilchen fehlen, nicht stärker als eine Alkoholflamme; eine solche Gasflamme heißt eine Bunsen'sche Flamme. Eine zu diesem Zwecke häufig gebrauchte Lampe stellt (Fig. 37.) dar. Durch einen Schlauch wird das Gas nach dem Rohre a geleitet, dieses hat am anderen Ende eine enge Abflußöffnung und steckt in einem weiteren Rohr bb; bei c endet das innere Rohr und gerade an dieser Stelle sind im äußeren vier Seitenlöcher, durch welche Luft einströmen kann. Das äußere Rohr wird durch einen starken eisernen Ring dd hindurch zu einem Behälter ee geführt, der nach Oben eine gewölbte Fläche mit vielen engen Oeffnungen bildet; hier wird das Gas angezündet und liefert dann eine blasse, aber heiße Flamme von bedeutendem Umfang. Vom Ringe dd aus gehen sechs Stäbe, die nach Innen, gegen die Mitte hin, etwas tiefer liegen als außen, um die Gefäße, die erhitzt werden sollen, aufzunehmen. Da das Metall sehr heiß wird, so ist das Zuleitungsrohr durch einen hölzernen Griff geführt, so jedoch, daß die Luft noch zu den Löchern bei c gelangen kann; dieser Griff ist in der Figur nur angedeutet. Für die Fälle, wo ich noch stärkere Hitze haben will, habe ich diese Lampe noch etwas verändert. Statt die Luft nur freiwillig zuströmen zu lassen, führe ich dem Gase einen Luftstrom unter einem stärkeren Druck aus einem Gebläse zu. (Fig. 38.) stellt die Gas- und Luft-

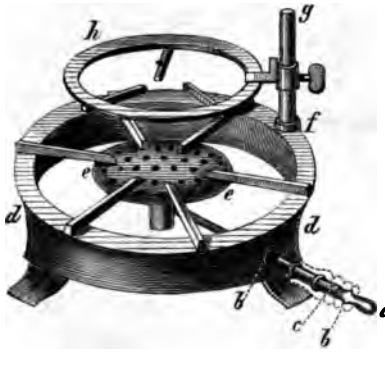


Fig. 37.

leitung im Durchschnitt vor. Nach a wird das Gas durch einen Schlauch hingeführt, bb ist ein Hahn zum Reguliren des Gasstroms; bei c ist das Rohr cd im ac eingeschraubt; das engere Röhrchen e mit enger Oeffnung f ist in cd eingeschoben (ohne Schraube, aber gut passend); die Buchstaben e und f stehen zwar außerhalb des Rohres cd, bezeichnen aber das in diesem befindliche Röhrchen; g ist ein Seitenrohr zu cd; an g wird ein Schlauch befestigt, der von einem Gebläse kommt,

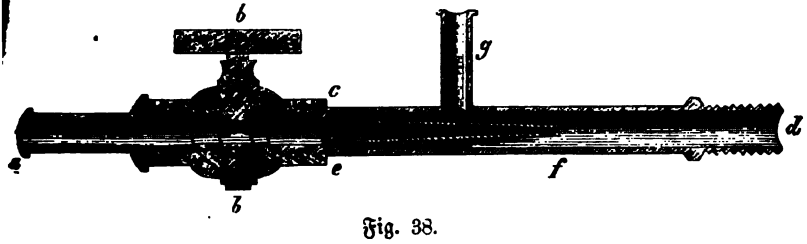


Fig. 38.

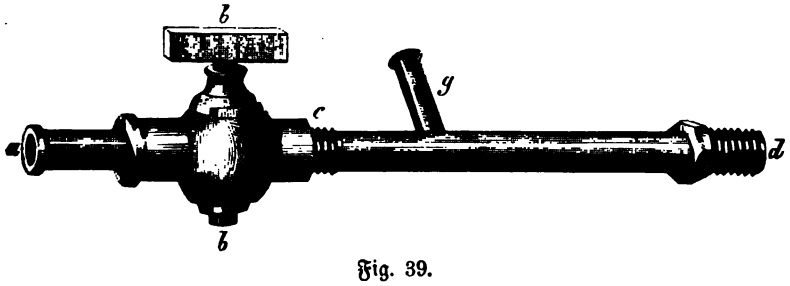


Fig. 39.

welches einen continuirlichen Luftstrom giebt, dessen Druck man stärker oder schwächer machen kann. Die Schraube bei d wird in den Behälter ee (Fig. 37.) eingesetzt. (Fig. 39) ist eine perspectivische Darstellung des Apparates ohne die Lampe. Dieselben Buchstaben stellen in der (Fig. 38. und 39.) auch dasselbe vor.

Um das Gas auf einen engeren Raum zu concentriren, wie z. B. beim Glasblasen, habe ich folgende Lampe construirt. Auf dem Ständer AB (Fig. 40.) mit schwerem Fuß läßt sich das Rohr CD in beliebiger Höhe feststellen. CE ist eine bloße Hülse, in welche das Rohr DE eingeschoben wird; F ist ein Hahn, E ein Seitenrohr, welches mit dem vom Hahne kommenden Rohr in Verbindung steht. Das Innere des Seitenrohrs E oder ab ist durch (Fig. 41.) vorgestellt; A oder ab zeigt das Rohr ab der (Fig. 40.), B die äußere Ansicht der Endfläche b dieses Rohrs in natürlicher Größe. In das äußere Rohr ab ist bei a ein engeres eingeschraubt, welches bis b reicht und dort in der engsten Kreisöffnung (in der Mitte von B) endet; über das äußere Rohr ist bei b eine Kappe gesetzt, welche eine Bohrung hat, die sehr wenig größer ist als die äußere Dicke des inneren

Rohres, so daß die schmale kreisförmige Spalte, die in B zu sehen ist, entsteht. In (Fig. 40.) ist bei D die Flügelschraube des Gasschlauchs zu sehen und links daran der Schlauch selbst. Das Gas strömt durch den geöffneten Hahn F nach dem Röhrchen a b, verbreitet sich um das innere Rohr rings um, und strömt aus der kreisförmigen Spalte in

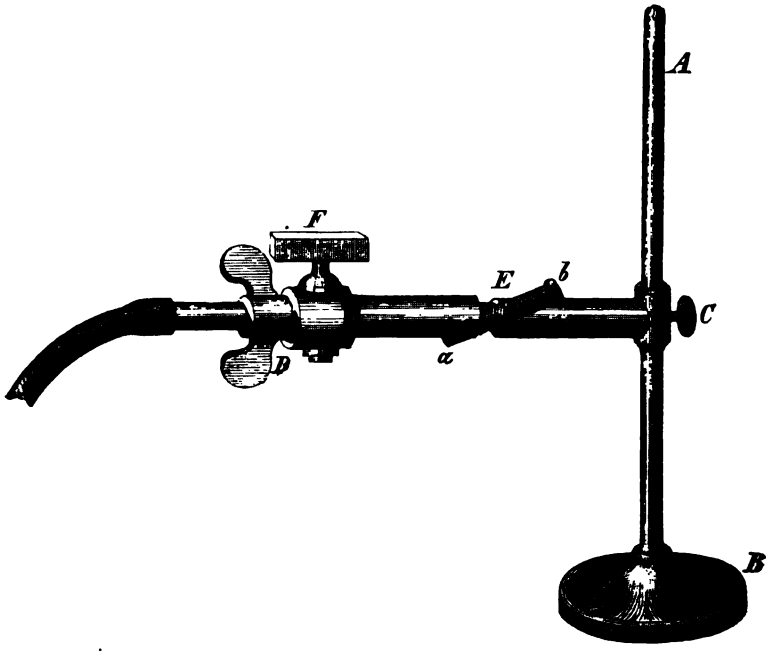


Fig. 40.

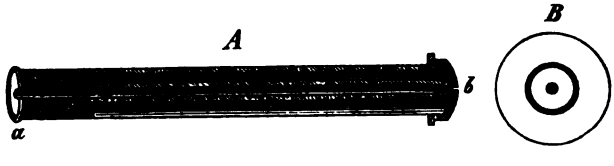


Fig. 41.

einem Kegel aus. Das Ende a des Röhrchens a b wird durch einen Schlauch mit einem Gebläse mit contrinuirlichem Luftstrom verbunden, so daß die zuströmende Luft ins Innere des Gaskegels bringt und dort die Verbrennung befördert. Da wo die Luft den Gaskegel trifft, ist die größte Hitze und die Stelle läßt sich ebenso wahrnehmen wie beim gewöhnlichen Löthrohr.

Bei der Gaslampe (Fig. 37) habe ich für den Fall, daß, wie (Fig. 38 und 39) darstellen, ein Luftstrom aus einem Gebläse angewendet wird, noch eine kleine Aenderung vorgenommen. In diesem Falle nämlich verlängert sich die Flamme und die Gefäße, welche erhitzt werden sollen, kommen dann nahe an den Gasbehälter. Um also den Gefäßen die richtige Flamme zu geben habe ich in den eisernen Ring der Lampe einen senkrechten Stab fg eingesetzt, der von Unten durch eine Mutter festgehalten wird und einen in jeder Höhe festzustellenden Ring h trägt, wie man solche Ringe an jeder Spirituslampe hat; nur ist er stärker als diese gewöhnlich sind. Für die Fälle, wo der Ring oder der Stab, wegen zu großer Breite der aufzusetzenden Gefäße, im Wege stände, kann man beide leicht entfernen.

2. Von den Consumtibilien.

Die vorräthig zu haltenden Consumtibilien sind entweder trockene (feste) Stoffe, oder Flüssigkeiten.

Feste Consumtibilien: Coconfaden, gedrehte Seide, leinener Faden, lose Baumwolle, feine Gaze (um Siebe zu machen), Schellack, Siegellack, Wachs, fester (dicker) Terpentin; ausgeglühter Eisendraht, meist sehr fein, um Gegenstände, die in's Feuer gebracht werden, zu binden; um den Draht auszuglühen wickelt man ihn um ein Stück Holz und setzt ihn dem Kohlenfeuer oder der Bunsenschen Flamme aus. Korke von $3^{mm.}$ bis 4 oder 5 $^{cm.}$ Durchmesser. Leinene, wollene und seidene Tücher (Stücken, theils zum Reinmachen, theils zu verschiedenem Gebrauch). Schreibpapier, Löschpapier, Smirgel- und Sandpapier (beide von verschiedener Feinheit). Rührstäbe (Stäbe von massivem Glase). Glasröhren von verschiedener Weite und Wandstärke (Röhren von ganz dünnem Glase sind wenig brauchbar).

Von Körpern in Pulverform, Krystallen oder sonst in größeren oder kleineren Stücken wird man folgende vorräthig zu halten haben: arabisches Gummi, Schwefelblumen, Lycopodiumsamen (Bärlappsamen), Kochsalz, Salpeter, Alaun, Kupfervitriol, Pottasche, Soda, Mennige, Salmiak, Chlorbarium, Colophonium in Stücken und auch fein gerieben, Smirgel, Bimsstein.

An flüssigen Consumtibilien sind zu halten: Baumöl, Knochenöl (eignet sich zum Schmieren, wo Reibung verhindert werden soll, besser als jedes andere Oel). Terpentinöl, Leinölfirniß; englische Schwefelsäure, rauchende Schwefelsäure (Nordhäuser Vitriolöl), Salpetersäure, Salzsäure, absoluter Alkohol, Brennspiritus, Schwefeläther, Schwefelkohlenstoff, Löthwasser (Auflösung von Chlorzink mit etwas Salmiak), kaustisches Ammoniak, destillirtes Wasser (statt dessen gebrauche ich sehr oft filtrirtes Regenwasser), Quecksilber.

Von den meisten dieser Stoffe wird man mäßige Quantitäten anschaffen; beim Quecksilber hängt es davon ab, ob gewisse Versuche, die auf einmal viel erfordern, angestellt werden sollen, und wie die Gefäße beschaffen sind, welche dazu gebraucht werden. Zu den meisten Ver-

suchen werden 10—15 kgr. ausreichen; bei einigen fassen die vorhandenen Gefäße, die beim Versuche doch gefüllt sein sollen, bis zu 40 kgr. — Das Quecksilber ist chemisch rein und als sogenanntes „käufliches" zu haben, ersteres natürlich viel theurer als letzteres. Zu den meisten physikalischen Versuchen reicht käufliches vollkommen aus; man wird also reines nur für besondere Fälle in geringerer Menge anschaffen. Es kann vorkommen, daß man sich selbst zu einem besonderen Zweck ein Thermometer oder anderes Instrument anfertigen will, wo nach dem Stande enes Queckſilberfadens eine Scale abgelesen werden soll, dazu sollte man immer reines Queckſilber verwenden, weil das allein eine scharfe Grenzfläche liefert, das unreine auch die Glasröhre beschmutzt, da es Fäden zieht, d. h. am Glase haften bleibt.

Wenn das Queckſilber zu sehr am Glase adhärirt und nicht mehr so flüssig und beweglich ist, wie leidlich reines, so muß man es wieder reinigen, da ihm dann fremde Körper, Staub, Metalle ꝛc. beigemengt sind. Von einer chemischen Reinigung kann hier nicht die Rede sein, denn die läßt sich nur durch Destillation aus einer eisernen Retorte bewirken. Wenn man den Zeitaufwand und das Brennmaterial in Anrechnung bringt, so käme diese Operation so theuer, daß man noch billiger reines Queckſilber aus der chemischen Fabrik kaufen könnte. Ich pflege nur alle paar Jahre den Queckſilbervorrath durch ein mit Wasser befeuchtetes Schaffell zu pressen. Es bildet dann an der Oberfläche wieder einen blanken Spiegel und ist für physikalische Versuche vollkommen brauchbar. Nähme man trockenes Leder, so würden von diesem eine Menge Fäserchen in das Queckſilber übergehen. Man kann auch, um einige beigemengte Metalle zu entfernen, kleinere Quantitäten Queckſilber in Flaschen füllen und mit verdünnter Schwefelsäure übergießen; schüttelt man es dann oft und läßt es so längere Zeit stehen, so löst die Säure manche Metalle auf; zuletzt gießt man die Säure ab und wäscht das Queckſilber wiederholt mit vielem Wasser aus. Um die letzten Spuren des Wassers davon zu trennen rührt man mit einem gläsernen Rührstab Löschpapier, das nicht faſert, anhaltend durch das flüssige Metall.

III. Von der Aufbewahrung der Werkzeuge und Consumtibilien.

Den eigentlichen Instrumenten haben wir oben ihren Platz in den Schränken des Cabinets angewiesen. Wo sollen aber die Werkzeuge und Consumtibilien bleiben? — Die Beantwortung dieser Frage hängt natürlich von der Zahl und Größe der zu Gebote stehenden Localitäten ab. Zwei Zimmer, Lehrzimmer und Cabinet sind geradezu unentbehrlich, ohne sie würde ein physikalischer Unterricht unmöglich sein; auch müssen sie neben einander liegen, so daß man aus dem einen unmittelbar in's andere gelangt; auch das ist nicht zu entbehren, daß das Lehrzimmer nur vom Lehrer der Physik benutzt werde. Soll aber der Unterricht über das beschränkte Maß einer gewöhnlichen Mittel- oder

Bürgerschule ausgedehnt werden, so ist ein drittes Zimmer, wo die verschiedenen Arbeiten ausgeführt werden, nicht zu entbehren. Fehlt dies, so kann der Lehrer freilich nicht dafür und muß gar Manches bleiben lassen, was für einen Unterricht nach dem gegenwärtigen Stande, nicht nur der Wissenschaft, sondern mehr noch der Pädagogik und Didaktik an sich nicht fehlen darf. Bis die Schwierigkeiten, die zur Zeit noch der schulmäßigen Entwickelung der Physik und anderer Zweige der Naturwissenschaft entgegenstehen, aus dem Wege geräumt sein werden, muß das Publikum mit den unter den gegebenen Verhältnissen möglichen Leistungen vorlieb nehmen. Ultra posse nemo obligatur. Wir sind hier genöthigt ein Arbeitszimmer vorauszusetzen. Unter dieser Annahme bringe man denn alle die Werkzeuge, welche unmittelbar bei den Versuchen gebraucht werden in's Lehrzimmer und bringe sie in den Räumen des Experimentirtisches unter. Zu diesem Zwecke werden die Böden der Schubkasten durch etwa 1 cm. hohe Leisten in Fächer getheilt, so daß auf jedes Stück Werkzeug ein bestimmtes Fach kommt, welches aber gerade für dieses Stück eingerichtet wird, wo es denn auch nach dem jedesmaligen Gebrauch wieder hingelegt wird, um nie nöthig zu haben, danach zu suchen. Alle übrigen Werkzeuge kommen nach dem Arbeitsraum und werden an einem an der Wand befestigten Brette angehängt. Dies kann geschehen, entweder indem man in's Brett Stifte schlägt und in die Hefte der Werkzeugsstücke entsprechende Löcher bohrt, oder dadurch, daß an dem Brett Leisten angebracht werden, in welche man Falze schneidet, in welche je ein bestimmtes Stück paßt, wo es denn auch immer seinen Platz angewiesen erhält. Einige der unter den Werkzeugen genannten Gegenstände können recht wohl im Cabinet Platz finden, wie z. B. die verschiedenen Ständer, Retortenhalter, Lampen u. s. w., wo unter dem Tisch oder anderweitig wohl Platz zu finden sein wird. Eben dahin wird man die Vorräthe an Glas- und Porzellansachen bringen, wozu sich die unteren Behältnisse der Schränke auch eignen werden.

Von den Consumtibilien werden die trockenen in kleinere und größere Gläser gethan, die flüssigen in Flaschen mit Glasstöpseln. Da viele derselben theils sofort zur Hand sein müssen, so wird man nicht umhin können, im Lehrzimmer einen Schrank hinzustellen, der zur Aufnahme dieser Gegenstände bestimmt ist. Es befinden sich darunter mehrere, welche durch ihre Ausdünstung den Instrumenten schaden würden; sie dürfen daher auch aus diesem Grunde nicht in's Cabinet gebracht werden, wie z. B. die flüchtigen Säuren.

Man mache sich zur Regel, jedes Glas und jede Flasche, worin ein fester oder flüssiger Körper gebracht worden, vor dem Wegstellen mit Etiquette zu versehen und den Namen des Inhaltes deutlich darauf zu schreiben. Man schreibt diesen auf Schreibpapier, schneidet dieses in die schickliche Form und klebt es mit arabischem Gummi auf. Bequemer noch ist es, im Voraus einen Bogen Schreibpapier zu gummiren, um zur Zeit ein Stück abzuschneiden, zu signiren und aufzukleben.

warme gebracht würden, sie beschlügen, d. h. sich mit einer Schicht Feuchtigkeit belegen würden, was elektrische Apparate für den Augenblick und selbst auf lange Zeit hinaus unbrauchbar macht, anderen, z. B. eisernen und stählernen Instrumenten bleibende Nachtheile bringt, indem sie nachher rosten; aber auch alle übrigen leiden an Ansehen, der Lack wird nach und nach von Messingflächen weggewischt, sie nehmen allerlei häßliche Flecken an, mit einem Wort, sie verlieren an Eleganz. Wässerige, in gläsernen Gefäßen enthaltene Flüssigkeiten würden im ungeheizten Zimmer gefrieren und dann die Gefäße zersprengen. Dies sind nun aber nicht immer bloße Gefäße zur Aufbewahrung, sondern gehören manchmal als wesentliche Bestandtheile zu einem Apparate, z. B. bei den Geißlerschen Röhren. Nun unterbleibt aber das Heizen in den Schullocalen während der Weihnachtsferien; da sind dann solche Apparate der Gefahr der Zerstörung ausgesetzt. Man sollte also vor dieser Zeit, so viel wie möglich, alle Glasgefäße der wässerigen Flüssigkeiten entleeren, und die, bei denen dies nicht möglich ist, in eine Wohnung bringen, wo die Temperatur nie zur Frostkälte heruntersinkt; besser noch, man läßt zu solchen Zeiten das Cabinet etwa alle zwei Tage heizen, kurz, sorgt dafür, daß die Temperatur nie unter den Gefrierpunkt sinkt.

IV. Von einigen oft vorkommenden Arbeiten.

1. Bearbeitung des Glases.

Bei physikalischen Arbeiten stellt sich fast täglich das Bedürfniß ein, an gläsernen Geräthschaften diese oder jene Veränderungen vorzunehmen, oder aus Glas irgend Etwas herzustellen, das bei den Versuchen gebraucht wird. Es sollen einige dieser Arbeiten im Folgenden kurz beschrieben werden, theils um dem Anfänger zu den leichteren derselben die nöthige Anleitung zu geben, theils um dazu anzuregen, anderwärts weitere Belehrung zu suchen, um auch schwierigere Arbeiten ausführen zu lernen. Manche an dem Glase auszuführenden Arbeiten sind nämlich so eigenthümlicher Art, daß, wer nicht ein ganz besonderes Talent dafür besitzt, ohne mündlichen Unterricht und practisches Vormachen durch einen geübten Techniker, sie aus Büchern doch nie lernen wird; auch werden manche Leser dieses Buches sich schon mit diesen leichteren Arbeiten begnügen; wer darin weiter strebt, der ergreife jede Gelegenheit, sich die practischen Handgriffe von Leuten von Fach zeigen zu lassen. In kleineren Städten finden sich in der Regel keine Glasbläser; wenn man sich daher nicht dauernd in einer größeren Stadt aufhält, so muß man wenigstens es nicht versäumen, bei einem vorübergehenden Aufenthalte sich von einem Techniker unterrichten zu lassen. Guter Wille und einiges Talent werden dann weiter helfen.

Zu den wichtigsten Arbeiten am Glase gehört das Glasblasen. Hiebei kommt es ganz besonders auf die Herstellung der richtigen Flamme an. Sie wird entweder durch eine Oellampe oder durch die Gaslampe

geliefert. Wer die Kunst des Glasblasens bei der Oel- oder Talglampe gelernt hat und sie täglich übt, der wird auch wohl stets dabei bleiben. Wer aber nur dann und wann einmal solche Arbeiten verrichtet, kommt im Laufe der Zeit wieder aus der Uebung, die Flamme richtig zu stellen. Ist aber eine Gaslampe richtig construirt, so hat man beim Gebrauch derselben Nichts weiter zu thun, als den Gasstrom durch den Hahn richtig zu reguliren; die Lampe ist die oben an den Figuren 39 und 40 beschriebene; der Luftstrom wird durch ein doppeltes Gebläse geliefert. Das zur Verarbeitung dienende Glas hat stets Röhrenform. Man übe sich erst an leicht schmelzbarem Glase, die gewöhnlichsten Formen herauszubringen, ehe man strengflüssiges Glas verarbeitet. Ehe man eine Röhre in's volle Feuer bringt erwärme man sie langsam, halte sie in einiger Entfernung von der Flamme, in der Richtung, wohin diese durch den Luftstrom getrieben wird, drehe dabei das Glas fortwährend, damit es auf allen Seiten gleich stark erwärmt wird, und nähere es der Flamme immer mehr, bis man endlich damit in die Flamme, zuletzt in den heißesten Theil derselben kommt. Je nachdem das Glas leicht- oder strengflüssig, dünn- oder dickwandig ist, wird es entweder schon ehe es in den heißesten Theil der Flamme gelangt, oder erst in diesem weich werden. In diesem Zustande muß man dem Glase die Form geben, die es erhalten soll; aber man muß nie eine Formänderung vornehmen, während das Glas im Feuer ist, sondern nur erst wenn man es aus dem Feuer zurückgezogen hat; da es so bald wieder starr wird, so wird man jede Formänderung nur nach und nach, durch wiederholtes Erhitzen zu Stande bringen. Hat das zu bearbeitende Stück die verlangte Form erhalten, so lasse man es nur nach und nach erkalten, d. h. man bringe es nochmals in den äußeren Theil der Flamme und ziehe es allmählig in der Richtung der Flamme zurück, so langsam, daß es noch einige Secunden der erwärmten Atmosphäre der Flamme ausgesetzt bleibt; ohne diese Vorsicht würde das Glas durch die schnelle Abkühlung spröde werden und leicht zerbrechen.

Will man eine Glasröhre biegen, so erhitzt man sie (immer nach der im Vorigen gegebenen Vorschrift) an der betreffenden Stelle unter beständigem Drehen. Ist das Glas weich geworden, so nimmt man es aus der Flamme und biegt die Röhre, so weit es gehen will, hält sie wieder in die Flamme, biegt weiter und fährt so fort, bis sie die verlangte Form hat. Soll eine Glasröhre an verschiedenen Stellen gebogen werden, so ist bei Zeiten darauf zu sehen, daß die Biegungen auch die Richtungen bekommen, die sie erhalten sollen, z. B. wenn eine Röhre zweimal rechtwinklig gebogen werden soll, so daß alle drei Schenkel in einer Ebene liegen, oder daß der dritte Schenkel auf der Ebene der ersten beiden senkrecht steht u. s. w., Formen, die sehr häufig gefordert werden.

Soll eine Röhre zu einer Spitze ausgezogen werden, so muß man eine Stelle erhitzen, so daß man noch beide Enden mit den Fin-

gern anfassen kann; unter stetem Drehen erhitze man solche Stelle, verschiebe aber die Röhre auch der Länge nach in der Flamme um eine kleine Strecke, damit die zu bildende Spitze nur allmählig an Dicke abnehme. Ist das Glas weich geworden, so nimmt man es aus dem Feuer und zieht es mit beiden Händen der Länge nach aus einander, ohne dabei zu drehen, weil es sonst leicht Schraubenform annimmt. Zuletzt trennt man beide Theile an der dünnsten Stelle; ist die Röhre an dieser Stelle zugeschmolzen, so bricht man die Spitze an dem Theil, den man gebrauchen will, ab.

Will man an einer Röhre den scharfen Rand **abstumpfen**, so hält man sie in die Flamme bis das Glas anfängt, weich zu werden; dann verliert sich die Schärfe der Kante von selbst; aber der Rand biegt sich dabei gern nach Innen und verengt die Oeffnung. Um dies zu verhindern nimmt man ein Eisenstäbchen, erwärmt es etwas und drückt unter starker Neigung des Stäbchens die Kante ringsum nach Außen.

Um an eine Röhre am einen Ende eine **Kugel** anzublasen, schmelzt man die Röhre an diesem Ende zu, und macht so viel Glas flüssig als zur Kugel nöthig ist; man nimmt dann die Röhre aus der Flamme und bläst durch das offene Ende unter stetem Umdrehen hinein, wo sich dann das geschmolzene Glas zur Kugel ausdehnt. Die Stärke des anzuwendenden Windes läßt sich nicht angeben, man muß sie durch einige Uebung selbst heraus finden; bläst man zu schwach, so läuft das Glas nicht auf, bläst man zu stark, so platzt die Kugel mit einem Knall; nach einigen mißglückten Versuchen wird man die rechte Windstärke herausgefunden haben.

Um an einer Glasröhre, nicht am Ende, sondern an irgend einer anderen Stelle eine **Erweiterung** anzubringen, wird die Röhre am einen Ende ganz geschlossen, an der Stelle, wo sie erweitert werden soll, bis zum Weichwerden erhitzt, und vom offenen Ende her hineingeblasen. Es gehört einige Uebung dazu, gerade so viel Glas zu schmelzen, als zu der beabsichtigten Erweiterung nöthig ist. Um die nöthige Menge des geschmolzenen Glases zu bekommen, muß man beide Theile der Röhre etwas gegen einander rücken.

Soll seitwärts in eine Glasröhre eine **Oeffnung** gemacht werden, so schmelzt man die Röhre wieder am einen Ende zu, erhitzt die betreffende Stelle ringsum etwas, bringt sie dann aber durch eine Stichflamme, d. h. eine schmale zur Spitze zulaufende Flamme bis zum Schmelzen und bläst durch das offene Ende hinein; es entsteht sogleich die gewünschte Oeffnung.

An diese Oeffnung kann man nun auch eine andere **Glasröhre** ansetzen; zu diesem Zwecke formt man die Oeffnung der zweiten Röhre so, daß ihr Rand gerade auf den der geblasenen Oeffnung paßt, erhitzt dann die Ränder beider Oeffnungen gleichzeitig bis zum Schmelzen; sind beide ganz erweicht, so drückt man sie auf einander und schmelzt sie dann noch wiederholt, um die Verbindung beider Theile

inniger zu machen. Sind die Röhren von verschiedenen Glassorten, so hält es schwer, eine gute Verbindung herzustellen; gleichartige Glassorten vereinigen sich am leichtesten.

Das Glasschneiden mit dem Diamant ist nicht schwer. Hat man einen richtig gefaßten Glaserdiamant, so legt man ein Lineal in einigem Abstande von der Linie, in welcher das Glas geschnitten werden soll, legt den Diamant gegen das Lineal, die am Griff angebrachte Marke gegen sich gekehrt, giebt dem Griff eine senkrechte Stellung und zieht ihn mit gelindem Drucke längs des Lineals hin. Es muß dabei eine reine Linie, ohne alles Glasmehl entstehen; man kann auch am Ton erkennen, ob der Schnitt rechter Art sein wird, es muß eben ein schneidender, kein kratzender Ton entstehen. Ist ein reiner Schnitt entstanden, so kann man das Glas in diesem Schnitt durchbrechen, sonst nicht. Ist es mißglückt, so hatte der Diamant nicht die rechte Lage. Der Diamant krystallisirt nämlich in Oktaëdern; die Kanten dieser Oktaëderflächen sind gerade; aber auf diesen Flächen setzen sich noch secundäre Krystalle an, deren Flächen durch krummgebogene Kanten begrenzt sind, und diese krummen Kanten sind die, welche allein das Glas schneiden. Nun kommt es darauf an, den Diamant so zu fassen, daß die zwei, eine krumme Kante bildenden Flächen bei senkrechter Stellung des Griffs genau gleich gegen die Glasfläche geneigt sind; ist die Fassung nicht correct ausgefallen, so muß man die Stellung herausfinden, bei welcher diese gleiche Neigung eintritt. Die Ecken der geraden Kanten des Diamants würden das Glas nur ritzen, nicht schneiden.

Das Glasschleifen erfordert zunächst verschiedene Schleifmittel, dann einen Körper, auf dem geschliffen wird. Als Schleifmittel dient der Smirgel (Pulver von Korund) in verschiedenen Abstufungen der Feinheit, und Eisenoxyd (Englischroth). Um diese Körper in verschiedenen Graden der Feinheit zu bekommen werden sie geschlämmt. Zu diesem Zwecke stellt man sich etwa 6 Glascylinder hin, schüttet in den ersten eine Quantität käuflichen Smirgel und gießt das 10- bis 12fache Volumen Wasser darauf; schüttelt dann das Gefäß von Unten nach Oben, indem man den Cylinder mit der flachen Hand zudeckt und ihn einigemal rasch von Unten nach Oben und von Oben nach Unten bewegt, ohne daß eine Drehung entsteht; oder man kehrt auch wohl den Cylinder einigemal hinter einander um. Man gießt dann ohne Verzug das Wasser in den zweiten Cylinder ab, so daß nur der Smirgel, der sich sogleich zu Boden gesetzt, im ersten Cylinder zurückbleibt; nach einer Minute gießt man das Wasser aus dem zweiten Cylinder in den dritten, nach 4—5 Minuten aus dem dritten in den vierten, und so fort, nach immer längeren Zwischenzeiten in die nächstfolgenden Cylinder. Die Bodensätze der verschiedenen Cylinder werden herausgenommen, auf Löschpapier getrocknet, in Gläser gefüllt und numerirt. Eben so verfährt man mit dem Eisenoxyd. Das weiße Zinkoxyd ist ebenfalls ein gutes Polirmittel um die blanke Fläche des Glases wieder herzustellen, wenn diese schon die verlangte Form durch Schleifen erhalten, und

durch die anderen Schleifmittel schon wieder etwas Politur angenommen hat.

Soll eine Glasplatte eben geschliffen werden, so geschieht das am besten auf einer Platte von Spiegelglas oder von Kupfer. Man bringt Etwas von einer gröberen Smirgelsorte mit Wasser darauf, legt die zu schleifende Platte auf und indem man die ausgebreiteten fünf Finger der einen Hand darauf setzt, bewegt man sie mit leisem Druck in Epicykloiden, d. h. in schleifenförmigen Linien auf der unteren Platte herum. Ist das Glas gleichmäßig auf der ganzen Fläche matt geworden, so wechselt man den Smirgel, nimmt feineren, und verfährt damit ebenso; das Glas bekommt dann ein feineres Matt; noch feineres Smirgelpulver stellt die Politur wieder her, die man mit Rothstein und Zinkoxyd noch verbessert.

Um den Rand eines Glases oder einer Glocke eben zu schleifen, verfährt man ebenso; gewöhnlich soll er ein feines Matt behalten, man sieht also dann vom Poliren ab. Ein so geschliffener Rand und eine ebenfalls matt geschliffene Spiegelglasplatte werden häufig gebraucht, um bei Gläsern mit weiten Oeffnungen einen wasser- und luftdichten Verschluß zu bekommen. Der Rand der Luftpumpenglocke wird am besten auf dem Pumpenteller selbst geschliffen.

Man hat oft von einer Glasröhre ein Stück von bestimmter Länge **abzutrennen**. Zu diesem Zwecke macht man an der Stelle, wo die Trennung geschehen soll, mit einer dreikantigen oder halbrunden Feile einen Schnitt, so daß an dieser Stelle der Schmelz vom Glase entfernt wird, faßt die Röhre mit den Händen, wie (Fig. 42.) zeigt,

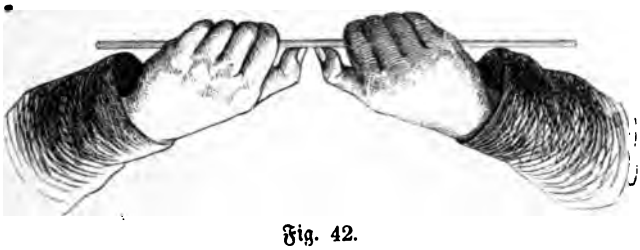


Fig. 42.

so, daß die beiden Daumen an der dem gefeilten Strich gegenüber liegenden Stelle fast zusammentreffen, der Strich also von dem, der die Röhre hält, abgekehrt ist, und bricht so einfach die Röhre durch, indem man beide Hände, um die Daumenspitzen drehend, nach sich zieht. Das Glas wird immer eine ziemlich glatte Bruchfläche geben, deren scharfe Kanten, wenn es nöthig ist, in der Flamme der Bunsenschen Lampe abgestumpft werden. Dies letztere ist erforderlich, wenn die Röhre mit der Bruchfläche durch Gummiröhren oder Korke gesteckt werden soll, weil der scharfe Rand diese sonst zerreißt.

Das Glasbohren. Kleine Löcher von einigen Millimetern

Durchmesser werden in Glas im Ganzen ebenso gebohrt, wie wir es weiter unten bei Metallen beschreiben werden. Man verschafft sich einen Metallbohrer vom höchsten Härtegrad, bohrt damit mittelst des gewöhnlichen Bohrzeugs, indem man die Stelle oder den Bohrer fleißig mit Terpentinöl tränkt. Bei dünnem Glase geht man etwas sicherer, wenn man den Centrifugalbohrer anwendet, weil dieser immer einen gleichmäßigen Druck ausübt, dahingegen der Druck bei den anderen Bohrzeugen sich nicht immer gleich bleibt, wo dann leicht ein Zerspringen des Glases erfolgt, namentlich wenn die Spitze des Bohrers schon an der Rückseite des Glases angekommen ist.

Löcher von größerem Durchmesser werden eigentlich nicht gebohrt, sondern geschliffen, und es ist hierzu eine Drehbank fast unentbehrlich, wenigstens kürzt sie die dazu nöthige Zeit ganz bedeutend ab. Man verschafft sich einen Cylinder aus 1—2$^{mm.}$ dickem Kupferblech, dessen äußerer Durchmesser dem Durchmesser des zu bohrenden Loches gleich ist, dessen Höhe aber nur 1—2$^{cm.}$ zu betragen braucht. Diesen Cylinder befestigt man auf das Ende eines Stückes Holz, das als Heft oder Griff dient, so daß der Cylinder noch beträchtlich über das Holz hervorragt. An die Stelle, wo das Glas durchgebohrt werden soll, kittet man mit Siegellack einen Kork oder rund gedrehtes Holz, dessen Durchmesser dem inneren Durchmesser des Cylinders gleich kommt und beim Bohren als Führung dienen soll. Man setzt dann den Kupfercylinder mit dem Griff über den Kork- oder Holzcylinder, giebt auf die zu bohrende Stelle etwas groben Smirgel mit Baumöl und dreht, wenn man keine Drehbank hat, den Cylinder mit dem Heft auf dieser Stelle mit einigem Druck so lange hin und her, bis das Glas durchgeschnitten ist, indem man, wenn nöthig, Smirgel und Oel von Zeit zu Zeit erneuert. Auf der Drehbank geht die Arbeit schneller von Statten, ist aber nur ausführbar, wenn der Halbmesser der Scheibe kleiner als die Höhe der Spindel über der Bankplatte ist. Man befestigt die Platte centrisch auf die eben gedrehte Vorderfläche eines Holzfutters, läßt sie herumlaufen und hält den Kupfercylinder mit Smirgel und Oel versehen, gegen die zu bohrende Stelle.

Es ist oft nöthig, *den Boden einer Flasche abzutrennen*, um aus der Flasche eine Glocke zu machen, oder auch andere größere Gefäße durchzuschneiden. Dies kann auf verschiedene Weise geschehen. Ist man im Besitze einer Drehbank, so schleift man das Gefäß durch, und es ist dies das sicherste Mittel zum Zwecke. Auf der Außenseite der Flasche bezeichnet man durch einen Kreis mit Tinte oder Farbe die Linie, in welcher die Trennung geschehen soll; dann befestigt man auf der Drehbank ein Holzfutter, auf dieses eine Kupferplatte, die etwas über das Futter vorragt, und deren Rand stumpf abgedreht ist. Die Befestigung der Platte ans Futter geschieht durch eine Schraube im Centrum und Ansiegeln an zwei oder drei anderen Stellen. Wenn nun die Kupferplatte bei der Drehung des Futters gut läuft (im entgegengesetzten Falle muß man sie durch Abdrehen dahin bringen), so

legt man auf den Rand der Platte etwas Smirgel und Oel auf, hält die Flasche mit einer Stelle des bezeichneten Ringes so gegen den Rand der Platte, daß sie mit dieser einen rechten Winkel bildet, und dreht das Futter herum. Wenn man bemerkt, daß das Glas angegriffen, die Politur an der getroffenen Stelle abgeschliffen ist, so dreht man die Flasche ein wenig und verfährt mit einer Nachbarstelle ebenso; dann dreht man weiter und weiter, bis ringsum ein Ring in die Flasche geschnitten ist. Man setzt dann dieses Verfahren fort, um den Ring tiefer zu schneiden, und zuletzt die Trennung beider Theile zu bewirken. Der Rand des Theils, welcher gebraucht werden soll, muß endlich noch auf einer ebenen Platte glatt geschliffen werden.

Eine andere Methode führt gewöhnlich schneller zum Ziele. Man bezeichnet wieder ringsum an der Flasche den Kreis, in welchem dieselbe durchschnitten werden soll, und sorgt dafür, daß die krumme Linie genau in einer Ebene liege. Dann bindet man mehrfach zu Streifen von 1 cm. Breite zusammengelegtes Schreibpapier auf jeder Seite der gezeichneten Linie durch vielfach umgewundenen Bindfaden so fest, daß zwei Wulste entstehen, welche nur einem 2 mm. breiten Ring, in welchem das Glas frei bleibt, zwischen sich lassen. In diesem freien Raume schlingt man eine hänfene Schnur einmal um die Flasche, so daß sie auf jeder Seite der Flasche noch etwa 50—60 cm. lange Enden hat, die man beide unter straffem Anziehen an festen Gegenständen befestigt, faßt die Flasche mit der einen Hand am Halse, mit der anderen am Boden, und bewegt sie rasch in der Richtung der Schnur so weit hin und her, als man mit den Armen gerade reicht. Durch die Reibung an der scharfangezogenen Schnur erhitzt sich das Glas so weit, daß die Schnur verbrennt; in diesem Augenblick gießt man bereit gehaltenes kaltes Wasser über den heißen Theil der Flasche, so springt diese in der vorgeschriebenen Linie meist ziemlich glatt ab.

Ein anderes Verfahren besteht darin, daß man einen mit Terpentinöl getränkten Faden um das Glas bindet, ihn anzündet und dann Wasser darauf gießt, worauf dann das Glas an der verlangten Stelle abspringt.

Man kann endlich das Glas auch mit Sprengkohle absprengen. Die Sprengkohle erhält man, wenn man 1 Th. gummi arabicum und 1 Th. gummi Traganth in möglichst wenig warmem Wasser, $^1/_6$ Benzoëharz in möglichst wenig absolutem Alkohol auflöst, den zusammengegossenen Flüssigkeiten 10—12 Th. feingepulverte Kohle von Laubholz beimengt, Alles gut durchknetet und in Cylinder von der Dicke eines Federkiels formt. Um mit der Sprengkohle den Hals oder Boden einer Flasche abzusprengen, zeichnet man wieder die Linie vor, macht an einer Stelle derselben mit einer dreikantigen Feile einen Einschnitt, hält das zugespitzte und an einer Spiritus- oder Gasflamme entzündete Ende der Kohle in geringer Entfernung vom Feilstreich unter spitzem Winkel gegen das Glas, so daß das Kohlenstäbchen in die Richtung zu liegen kommt, wohin der Riß im Glase gehen soll, nähert

sie langsam, unter wiederholtem Anblasen, dem Feilstrich; dann erfolgt in der Regel ein Riß so weit als das Glas erwärmt worden. Man legt dann die Kohle in einer kleinen Entfernung vom Ende des Risses an und nähert sich wieder dem Sprunge; so fortfahrend, gelangt man endlich um die ganze Peripherie des Glases herum, und die Theile lassen sich von einander trennen.

2. Bearbeitung des Holzes.

Es kommt sehr oft vor, daß man zum Zwecke physikalischer Versuche, einem Stück Holz eine bestimmte Form geben muß, und wenn man nicht vor der Hand den Versuch ganz aufgeben will, so muß man nothwendig die dazu nöthige Arbeit selbst ausführen können und dann auch die erforderlichen Werkzeuge zur Hand haben. Da dies alltägliche Arbeiten sind, über die man sich schon bei den betreffenden Handwerkern Raths erholen kann, so werde ich sie hier nur erwähnen, die wichtigsten dazu erforderlichen Werkzeuge nennen, aber die Arbeiten selbst nicht weiter besprechen.

Man wird also in die Lage kommen, zu bohren, zu sägen, zu stemmen, raspeln, hobeln, leimen und zu drehen. Man wird nicht umhin können, sich Bohrer, Sägen, Stechbeutel, Raspel, Hobel ꝛc. vor-

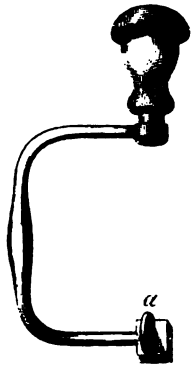


Fig. 43.

Fig. 44.

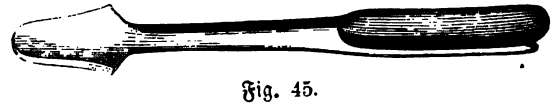


Fig. 45.

Fig. 46.

räthig zu halten. Ob man zur Anschaffung einer Drehbank mit den dazu nöthigen Werkzeugen schreiten will, hängt von den vorhandenen Mitteln, von dem Raume und der Zeit, die zu Gebote stehen, ab.

Man bohrt entweder mit dem einfachen Handbohrer, oder mittelst des Bohrzeugs, das unter dem Namen Drillbohrer (Fig. 43.) bekannt ist; mittelst der Schraube a werden die Bohrer darin befestigt. Dies sind entweder Löffelbohrer (Fig. 44. und 45.), oder Centrumbohrer (Fig. 46.); von jeder Art muß man etwa sechs Stück verschiedener Größen haben. Weitere Erfordernisse für Holzarbeiten sind

ein Sägeblatt von etwa 20—30$^{cm.}$ Länge mit Gestell, eine Laubsäge (Fig. 18.), etwa drei Stechbeutel verschiedener Breite, eine Raspel, einen Schruhhobel und einen Schlichthobel, einen Leimtiegel mit Pinsel. Zur Befestigung der Arbeitsstücke dient der Schraubstock (Fig. 12.), manchmal auch eine Schraubzwinge, die man überdies auch zum Festhalten mancher Apparate nöthig hat.

Will man seine Arbeiten auf das Drehen ausdehnen, so bedarf man natürlich einer Drehbank, deren Beschreibung hier übergangen wird. Die nöthigsten Werkzeuge dazu sind: der Dreizack (Fig. 47.), um Futter anzufertigen und Holzstücke aus dem Groben abzudrehen;

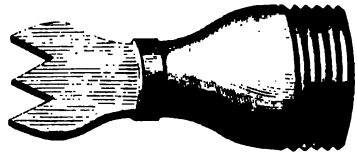


Fig. 47.

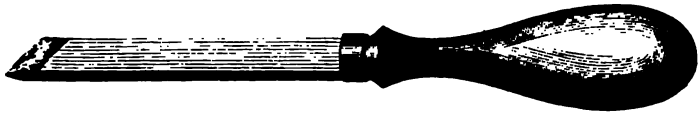


Fig. 48.

Fig. 49.

Fig. 50.

Fig. 51.

ein gerader Drehstahl oder Meißel (Fig. 48.), ein runder Drehstahl (Röhre) (Fig. 49.), zwei Schraubstähle (Fig. 50 und 51.), welche zu der Schraube an der Spindel der Drehbank passen, und wovon der eine für die männliche, der andere für die weibliche Schraube bestimmt ist, ein gerader Zirkel wie (Fig. 14.), und ein Tasterzirkel

(Fig. 15.). Die Drehbank schafft man sich so an, daß sie zugleich auch zum Metalldrehen gebraucht werden kann. Zum Bearbeiten des Holzes aus dem Groben hat man ein kleines scharfes Beil nöthig; zum Schärfen und Schleifen der Werkzeuge aller Art dienen Schleifsteine, erstens ein drehbarer Sandstein, der in Wasser läuft, zweitens ein Abziehstein, für Oel oder Wasser. Zum feinerem Verputzen der aus Holz gedrehten Gegenstände nimmt man Sandpapier verschiedener Feinheit, zuletzt Schachtelhalm. Um den Werkstücken ein besseres Ansehen zu geben, werden sie gebeizt und dann mit einer Auflösung von Schellack in Alkohol polirt. Man kann sich zwar die Beizen selbst zusammensetzen, da man aber nur wenig gebrauchen wird, so thut man besser, sie sich von einem Tischler oder Drechsler zu verschaffen.

Mehreres hier nur kurz Angedeutete wird in der folgenden Abtheilung über die Bearbeitung der Metalle seine weitere Ausführung finden.

3. Bearbeitung der Metalle.

A) Das Drehen. Ein wesentliches Hülfsmittel zur Verarbeitung der verschiedenen Metalle ist die Drehbank. Sie muß mit einer starken stählernen Spindel und mit einem wenigstens 50 Pfund schweren eisernen Schwungrad versehen, auch sonst genau und fest gearbeitet sein, so daß, wenn ein Körper einmal zum centrisch Laufen darauf eingespannt ist, er auch während der Arbeit in dieser Lage bleibe. Bei einer guten Drehbank müssen die Docken entweder auf einem dreiseitigen eisernen Prisma oder in den Falzen einer Eisenplatte laufen. Bei jeder Art des Drehens kommt Alles auf die richtige Anfertigung des Holzfutters an. Das erste Futter kann auf der eigenen Drehbank nicht gemacht werden, denn um die zur Spindel passende Schraube einzuschneiden, bedarf man selbst schon eines Futters; man muß es sich zur Spindel passend auf einer anderen, wozu schon Futter vorhanden sind, anfertigen lassen. Hat man dann aber mit Säge und Beil ein Stück hartes Holz in eine schickliche Form gebracht, so spannt man es mittelst des Dreizacks (Fig. 47.) und dem Dorn der Docke oder des Reitstocks ein, und dreht endlich mit Röhre und Meißel einen schwach konisch zulaufenden Zapfen an. In das Futter, welches man anderswoher mit einer zur Spindel passenden Mutterschraube versehen bezogen hat, dreht man mit der Röhre einen zu jenem Zapfen passenden Hohlkegel, bestreicht diesen und den Zapfen mit Kreide, um Reibung hervorzubringen, und schlägt den Zapfen in den Hohlkegel, so daß er centrisch läuft; dann bohrt oder dreht man in die Vorderfläche ein Loch, das um die doppelte Höhe der Schraubengänge enger ist als der Durchmesser der Spindel und schneidet mit dem Schraubstahl die Mutterschraube ein, welche genau auf die Spindel passen muß. Vom Schraubenschneiden wird weiter unten noch gehandelt werden.

Man hat auch ein eisernes Futter, welches auf die Spindel der

Drehbank paßt und vorn mit einer weiblichen Schraube versehen ist, die also eine an ein Holzfutter gedrehte und mit der entsprechenden Schraube versehene Spindel aufnehmen kann.

Ein anderes eisernes Futter, das Klemmfutter (Fig. 52.), dient, um kleinere Gegenstände zu fassen; es läßt sich, wie das vorige, auf die Spindel schrauben und trägt sechs radiale Schrauben, die in zwei zur Spindelachse senkrechte Ebenen zu drei und drei vertheilt sind. Für dünne und lange Körper dient der Mitnehmer (Fig. 53.), wobei der Gegenstand an beiden Endflächen gekörnt wird und auf der Drehbank zwischen der Spitze a des mit der Mutterschraube b auf die

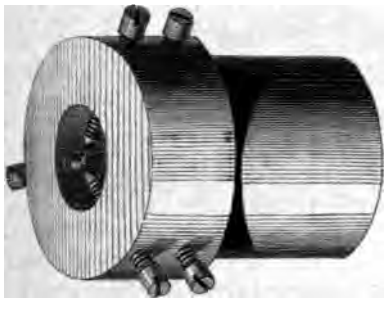


Fig. 52.

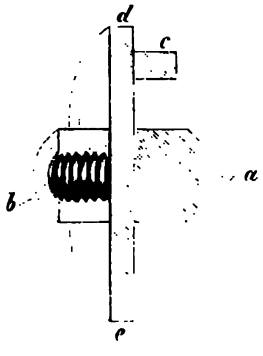


Fig. 53.

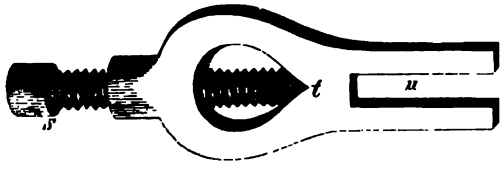


Fig. 54.

Spindel gesetzten Mitnehmers und der Spitze des Dorns läuft; der eingeklemmte Gegenstand würde aber so nicht regelmäßig herumlaufen, sondern oft stillstehen; der Mitnehmer hat daher einen festen Stift c, welcher senkrecht zur runden Scheibe de steht. Um den Gegenstand zu nöthigen, mit der Spindel gleichzeitig herumzulaufen, wird das Herz (Fig. 54.) angewendet: die Schraube st wird zurückgezogen, der Gegenstand bei t eingeklemmt und das Herz so gedreht, daß der Stift c des Mitnehmers in den gabelförmigen Raum u zu stehen kommt. Größere abzudrehende Körper werden in Holzfutter gefaßt, Platten kittet man auf ein vorn eben abgedrehtes Holzfutter. Einen Gegenstand körnen heißt, mit einer Stahlspitze in denselben eine kleine Vertiefung ein-

schlagen; die Spitze hat die Form der (Fig. 55.) und heißt **Körnerspitze**.

Drehstähle (Fig. 56.) sind viereckige Stäbe von gutem Gußstahl, die am Ende in einer ebenen Fläche so abgeschliffen sind, daß die eine Diagonale der Endfläche länger als die andere wird und mit den betreffenden Längskanten einen spitzen und einen stumpfen Neigungswinkel macht. Das andere Ende wird in ein Heft befestigt. Zum Hohldrehen dient die Form (Fig. 57.), wo eine etwas krumm gebogene

Fig. 55.

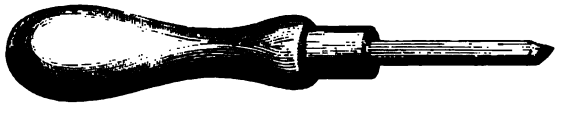


Fig. 56.

Fig. 57.

Seitenkante die wirksame ist. Das Führen des Werkzeuges und das Drehen überhaupt wird man nur durch practischen Unterricht lernen, wenigstens sollte man es sich einmal vom Mechaniker zeigen lassen; wer einiges Talent für mechanische Arbeiten hat, wird es bei fortgesetzter Uebung bald lernen; ohne alle mündliche Belehrung würde man indeß doch die größten Fehlgriffe machen. So hat man darauf zu achten, daß jeder Stoff anders behandelt werden will, Eisen anders als Messing, dieses anders als noch weichere Metalle; wieder andere Rücksichten sind zu nehmen bei der Bearbeitung von Horn, Knochen, Elfenbein ꝛc. auf der Drehbank. Wenn Eisen gedreht wird, taucht man den Drehstahl ab und zu in Wasser.

Ein vorzüglicher Hülfsapparat der Drehbank ist das **Süpport**. Wir führen es hier an, weniger als nothwendiges Werkzeug für den Lehrer oder Liebhaber der Physik, als vielmehr um zu zeigen, durch welche Hülfsmittel die Mechanik jene wunderbar genauen Apparate liefert, welche heut zu Tage aus den besseren Werkstätten hervorgehen. Das Süpport dient dazu, ebene und Cylinderflächen ganz genau herzustellen. Es besteht aus einer festen Unterlage von Eisen, welche auf dem Prisma oder der Laufplatte der Drehbank, also stets genau parallel mit der geometrischen Achse der Spindel läuft und an jeder Stelle durch Schrauben festgehalten werden kann. Diese Unterlage trägt in der Höhe der Spindel einen Meißel oder Drehstahl, welcher in seinem eisernen Lager mittelst Schrauben mit sanfter Bewegung und ohne

Schlottern parallel mit der Spindelachse verschoben werden kann. Nachdem durch Drehen aus freier Hand eine Cylinderfläche aus dem Groben hergestellt ist, richtet man den Meißel des Süpports so dagegen, daß er nur schwach angreift, und führt ihn mittelst der Schraube parallel mit der Spindelachse längs des Arbeitsstücks hin; er wird in dieser Stellung nirgends mehr angreifen; man nähert daher seine Schärfe dem Cylinder, so daß er wieder feine Späne herunter arbeiten kann und bewegt ihn, während der Cylinder rotirt, längs des Arbeitsstücks fort. So fährt man fort, bis der Cylinder überall gleichmäßig abgedreht ist, so daß der Meißel entweder überall oder nirgends angreift; der Cylinder hat dann die verlangte Form. In ähnlicher Weise bedient man sich des Süpports, um eine gegen die Spindelachse senkrechte, ebene Fläche zu drehen. Die Meißel für die Längsseite des Cylinders haben ihre Schärfe in der Richtung der Längenachse, die für die Endfläche rechts sind rechtwinklig nach Links, die für die Endfläche links sind rechtwinklig nach Rechts umgebogen. Sämmtliche Meißel für Metall bilden Spitzen, die, je nach der Art des Metalls, für die sie bestimmt sind, unter verschiedenen Winkeln zugeschliffen werden.

Nächst dem Drehen der Metalle kommt hier das Feilen in Betracht. Das Feilen ist aber, so leicht es scheint, in der That ein sehr schwieriges Geschäft, da, wer nicht viel Uebung hat, nie die gewünschte Form herausbekommt. Zunächst verwende man eine der Größe des Arbeitsstücks und der Menge des noch herunter zu arbeitenden Metalls entsprechende Feile, zuerst eine Feile von gröberem Hieb, um möglichst schnell die Form, die es bekommen soll, herzustellen; nähert man sich dieser, so werden feinere, zuletzt Schlichtfeilen angewendet, welche blos die Striche der gröberen wegnehmen, die Rauheit entfernen. Größere Arbeitsstücke werden dabei in den Schraubstock gespannt, kleinere in den Schraubkloben und auf ein in den Schraubstock gespanntes, mit einem Kerb versehenes Stück Holz gestützt. Wenn aber das Metall schon mit feineren Feilen bearbeitet wird, so muß man es gegen die Eindrücke sichern, welche der Zahnhieb des Schraubstocks oder Schraubklobens an den inneren Backenflächen machen würde. Beim Kloben werden zwei Blechstücke aus einem weichen Metall, z. B. Zink, welche über die Backen übergreifen, eingesetzt, um so beim Oeffnen des Mauls einen Halt zu haben. Für den Schraubstock macht man sich Backen aus Holz, die unten charnierartig verbunden werden, an der Seite eine Drahtfeder erhalten, damit sie sich von selbst öffnen. Falze auf den Außenseiten halten die Vorrichtung auf den Backen des Schraubstocks fest, auch wenn dieser geöffnet wird. In dies hölzere Maul wird das zu bearbeitende Metall gespannt.

Soll eine Fläche eben gefeilt werden, so muß man den Körper fest in den Schraubstock spannen. Zum Rundfeilen kann man sich des Klobens bedienen. Beim Feilen einer Ebene muß man einen sehr sichern Strich führen; der gewöhnlichste Fehler ist, daß man die Feile

am Anfang und am Ende des Strichs senkt, also eine gewölbte Fläche feilt. Beim Rundfeilen kleinerer Gegenstände im Kloben muß man diesen links und rechts, und zwar immer gegen den Feilstrich drehen. Die durch Drehen oder Feilen gefertigten Gegenstände werden nachgehends noch durch feinen Smirgel, englisch Roth, Wiener Kalk ꝛc. glatt gerieben.

B) Das Härten des Stahls. Stählerne Instrumente müssen, wenn sie die verlangte Form erhalten haben, gehärtet werden. Zu dem Zwecke werden kleinere Stücken mit der Zange gefaßt und in der Löthrohrflamme bis zum hellen Rothglühen erhitzt, dann im Wasser abgelöscht. Solche kleine Gegenstände brauchen in der Regel nur am einen Ende gehärtet zu werden, z. B. Bohrer; in solchem Falle erhitzt man auch nur dieses Ende. Soll eine größere Länge des Körpers hart gemacht werden, so wird man sich zum Erhitzen besser der Bunsen'schen Gasflamme bedienen. Größere Körper müssen in einem Feuer von Holzkohlen glühend gemacht werden. Beim Eintauchen in das Kühlmittel hüte man sich, den glühenden Körper mit einer breiten Fläche vorauf einzusenken, er würde sich werfen (krümmen). Allemal tauche man die Körper so ein, daß die kleinste Fläche vorangeht und die Längendimension des Körpers mit der Oberfläche der Flüssigkeit einen rechten Winkel bildet. Beim Erhitzen größerer Stücke im Kohlenfeuer muß man sie fast ringsum in Kohle einhüllen, jedoch so viel freien Raum lassen, daß man immer den Fortschritt des Glühens sehen und das Stück zur rechten Zeit mit der Zange aus dem Feuer nehmen kann.

Das Ablöschen des glühenden Stahlkörpers ist für die zu erzielende Härte von großer Wichtigkeit. So ist namentlich das Wasser, wenigstens für kleinere Instrumente, keineswegs das beste Löschmittel. Für kleinere Gegenstände finde ich nach Versuchen Hammeltalg mit Baumöl zusammengeschmolzen, nachdem die Mischung wieder fest geworden, sehr zweckmäßig. Sollen die Instrumente sehr hart werden, so lösche man sie in einem Harz, besser noch in einer Mischung aus etwa gleichen Theilen Harz und dickem Terpentin ab; sie werden dann so hart, daß man z. B. mit so gehärteten Bohrern Glas bohren kann. Beim Ablöschen in dieser Harzmischung ist es vortheilhaft, den heißen Körper schnell hinter einander an verschiedenen Stellen ins Harz zu tauchen, so lange bis er die Harzmasse nicht mehr schmelzt.

Der gehärtete Stahl ist in den meisten Fällen für den Gebrauch zu hart, er würde in diesem Zustande bald brechen, weil er spröde wie Glas, glashart ist; namentlich ist dies mit den im Wasser gelöschten Stahlkörpern der Fall. Das Wasser hat nämlich eine sehr große specifische Wärme, erwärmt sich durch das Eintauchen des glühenden Körpers weniger als andere Körper; der zu härtende Stahl wird daher im Wasser viel stärker und schneller abgekühlt als beim Löschen in Talg oder Harz. Wenn aber der Stahl abkühlt, wollen die kleinsten Theilchen wieder die für die niedrigere Temperatur geeignete Lage annehmen,

wie sie das am besten können, wenn man ihn langsam in der Luft abkühlen läßt, nur daß der Stahl dann weich wird. Wenn der glühende Stahl nun auch noch weit vom flüssigen Zustand entfernt ist, so sind doch seine Theilchen beweglicher als beim kalten Stahl, und bleiben um so länger beweglich, je langsamer er abgekühlt wird, und in Körpern von geringerer specifischer Wärme, wie Fett oder Harz, wird er eben nicht so plötzlich abgekühlt. Da die Erfahrung zeigt, daß er dabei sehr hart und doch weniger spröde wird als beim Ablöschen im kalten Wasser, so muß man annehmen, daß die Theilchen dabei gerade die richtige Constitution erhalten, um zwar hart, aber nicht spröde zu werden. Wir wissen leider noch zu wenig von den inneren Vorgängen der Körper, um solche Erscheinungen voraussehen zu können, und sind daher in diesen Dingen fast lediglich auf die Erfahrung angewiesen.

Der durch das Härten zu spröde gewordene Stahl muß weniger spröde, biegsamer, elastischer gemacht werden, ohne daß er wieder ganz weich wird. Dies geschieht durch das Anlassen. Der glasharte Stahl nimmt gewöhnlich beim Härten schon von selbst eine weißgraue Oberfläche an. Ist dies nicht der Fall, so putzt man die Oxydschicht, die noch darauf haftet, mit Smirgelpapier weg, erwärmt den gehärteten Stahl gelinde, je nach der Größe, über Kohlenfeuer, oder über der Bunsenschen Gas-, oder über der Spiritusflamme. Dabei entsteht auf der Oberfläche ein Oxydhäutchen, das bei fortschreitender Erwärmung und Oxydation andere und andere Farben annimmt. Erst wird es blaßgelb, dann strohgelb, goldgelb, braun, purpurn, dunkelblau, hellblau, endlich noch heller blau. Jeder dieser Farben entspricht ein bestimmter Härtegrad; die Farbe kann also dazu dienen, zu erkennen, wann der Körper den verlangten Härtegrad hat. So z. B. giebt man Instrumenten, die zur Bearbeitung der Metalle, namentlich der härteren, gebraucht werden, die Härte der blaß- oder strohgelben Färbung, ebenso den chirurgischen Schneideinstrumenten; Instrumente, auf die beim Gebrauche ein starker Druck ausgeübt wird, z. B. Stechbeutel, gewöhnliche Messer u. dergl., läßt man purpurfarbig anlaufen, Federmesser goldgelb, Sägeblätter blau, weil sie Behufs des Schärfens gefeilt werden müssen und die Zähne beim Schränken abbrechen würden, wenn sie härter wären. Gegenstände, die nur am einen Ende hart zu sein brauchen, wie z. B. Bohrer, erhitzt und löscht man auch nur an diesem Ende; beim Anlassen erhitzt man sie am anderen Ende, oder doch eine Strecke vom gehärteten Ende entfernt; man sieht dann, wie die Farben nach einander nach dem harten Ende hinlaufen. Man muß mit dem Erhitzen nicht so lange fortfahren, bis die verlangte Farbe an der gehärteten Stelle angelangt ist, weil sonst noch die nächst- oder gar zweitfolgende Farbe auch dahin gelangt, also die Stelle weicher wird als man sie haben will. Also darf man auch Körper, die im Ganzen gehärtet und angelassen werden sollen, nicht so lange erhitzen, bis die verlangte Farbe eintritt, denn nachdem man aufgehört hat, zu

erhitzen, tritt wenigstens noch die nächstfolgende Farbe hervor und macht dann den Körper weicher.

C) Das Bohren der Metalle geschieht mit gehärteten Metallbohrern von der Form der (Fig 58). Sie werden durch Feilen aus Stahldraht in diese Form gebracht, nachdem das eine Ende im glühenden Zustande breit geschmiedet worden. Man bekommt sie übrigens

Fig. 58.

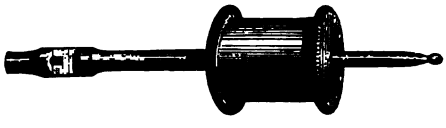


Fig. 59.

fertig zu kaufen. Um damit zu bohren setzt man einen solchen Bohrer in die Bohrrolle, zu welchem Zwecke der Bohrer am hinteren Ende eine kleine Strecke weit flach gefeilt ist. Die Bohrrolle (Fig. 59) ist ein Stahlstab, der in einer rundgedrehten Rolle von Buchsbaumholz steckt; an beiden Endflächen hat die Rolle vorstehende Wülste, so daß eine darum gewickelte Schnur oder Darmsaite bei der Drehung nicht heruntergleiten kann. Der Stahlstab (die Achse der Rolle) nimmt am vorderen Ende den Bohrer in einen Canal, der die Richtung der Längenachse hat, auf; gegen das Ende dieses Canals und darüber hinaus ist der Stab seitlich eingeschnitten und bis zur Mitte der Dicke flach ausgefeilt; auf diese ebene Fläche kommt die flache Stelle des Bohrers zu liegen; dadurch wird der Bohrer verhindert, in der Rolle noch eine eigene Bewegung anzunehmen, er kann sich nur mit der Rolle zugleich drehen. Das hintere Ende der Rollenachse ist abgerundet, wird während des Bohrens in eine Vertiefung eines Stahlplättchens (Fig. 60) gesetzt, das auf einem Brettchen durch Schrauben festgemacht ist; das Brettchen setzt der Bohrende gegen seinen eigenen Körper und sorgt dafür, daß der Bohrer stets die rechte Richtung behält. Um den Bohrer zu drehen befestigt man an einem Stock von spanischem Rohr eine etwas starke Darmsaite an beiden Enden; noch besser ist es, die Enden des Stocks mit messingenen Kappen zu versehen; man bohrt Löcher durch die Kappen, steckt die Enden der richtig abgemessenen Saite hindurch und bindet sie fest. Um die Saite auf die Rolle zu wickeln, nachdem der Bohrer eingesteckt und das zu

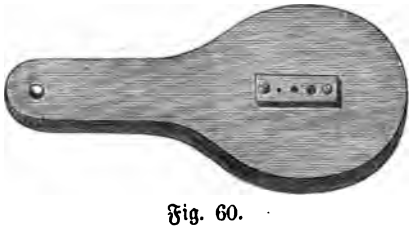


Fig. 60.

bohrende Stück in der Lage, wie man es beim Bohren gebrauchen kann, in den Schraubstock gespannt ist, legt man die Saite über die Rolle, hält sie mit dem Daumen der linken Hand fest, den Bohrer von sich abgewendet, während man den Rohrstock mit der rechten hält, stützt dann das freie Ende des Rohrstocks gegen irgend Etwas, wo er nicht ausgleiten kann, übt mit der Rechten einen Druck dagegen aus, so daß er sich biegt; die Saite wird dabei loser und man kann sie nun leicht mit der linken Hand auf die Rolle aufwickeln. Man legt dann das Brettchen gegen seinen Körper, setzt das hintere Ende der Rollenachse in die Vertiefung des Stahlplättchens, die Spitze des Bohrers aber an die Stelle, die zum Bohren bestimmt ist. Um diese leicht zu treffen, und zu verhindern, daß der Bohrer ausgleite, muß man vorher schon die Stelle mit dem Körner (Fig. 55) markiren. Der zu bohrende Gegenstand muß so in den Schraubstock gespannt werden, daß das Bohrloch horizontal zu liegen kommt; es kommt dann darauf an, mit Hülfe des Augenmaßes den Bohrer horizontal zu halten, dann aber auch in der Horizontalebene in die Richtung zu bringen, welche die Bohrung erhalten soll, was in den meisten Fällen die Richtung der Kanten der Schraubstockbacken sein wird. Da man hier nur von Oben nach Unten sehen kann, so wird die Stellung des Bohrers in der Horizontalebene leichter zu treffen sein, als die in der Verticalebene; man hat also auf diese ein besonderes Augenmerk zu verwenden. Ob man sich das Brett höher oder tiefer gegen den Körper zu stützen habe, hängt von der Höhe des Schraubstocks ab. Es kann allerdings auch vorkommen, wenn auch seltener, daß man in einer schiefen Richtung zu bohren hat, so z. B. wenn sich der Gegenstand nicht in solcher Lage einspannen läßt, daß die Bohrung in der Horizontalebene liegt; jedenfalls erfordert es viel mehr Uebung, den Bohrer während der Arbeit stets genau in derselben schiefen Richtung zu halten. Nachdem nun alle diese Vorkehr getroffen, führe man den Bogen mit mäßiger Geschwindigkeit abwechselnd nach Links und nach Rechts, indem man wenigstens Anfangs die Rolle mit dem Bohrer zwischen den Fingern der linken Hand laufen läßt, um sie im Falle eines möglichen Ausgleitens sogleich fassen zu können. Von Zeit zu Zeit wird man den Bohrer herausziehen, um die Bohrspäne los zu werden, weil sonst der Bohrer „würgt". Messing, Kupfer und überhaupt die weicheren Metalle werden trocken gebohrt, für Eisen wird der Bohrer wiederholt mit etwas Baumöl befeuchtet.

Spindelbohrer (Fig. 61) und Centrifugalbohrer (Fig. 62) sind andere Formen des Bohrzeugs; man bedient sich dabei derselben Bohrer wie bei der Bohrrolle, nur hat man darauf zu sehen, daß sie alle in dem verschiedenen Bohrzeug feststitzen; Rolle, Spindelbohrer und Centrifugulbohrer müssen also alle dieselbe Weite zur Aufnahme der Bohrer haben, sonst muß man für jedes Bohrzeug einen besonderen Satz Bohrer halten. Der Spindelbohrer hat ein mehrfaches Gewinde, das sehr flach ist; dies ist nöthig, damit der Griff a sich recht leicht hin- und herbewegen lasse; das Gewinde muß zu diesem Zwecke auch

etwas geölt werden. — Beim Centrifugalbohrer ist a b c eine Darmsaite; der Querstab ac wird mit dem Finger auf- und abbewegt; d ist eine schwere Metallmasse, die durch die Drehung eine Centrifugalkraft bekommt, daher den Bohrer leicht herumführt. Dieses Bohrzeug hat den Vortheil, daß der Druck auf die zu bohrende Masse sich stets gleich bleibt, was namentlich bei dünnen Gegenständen, Glas, Blech ꝛc. vortheilhaft ist.

Fig. 61.

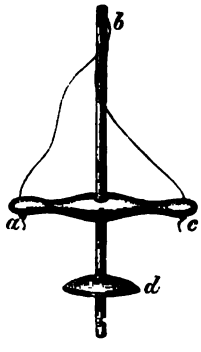


Fig. 62.

Man kann auch die Drehbank zum Bohren verwenden; es gehört dazu ein Futter von Stahl oder Eisen, gerade wie das der anderen Bohrzeuge. Die Spindel der Drehbank hat in der Regel eine innere Schraube, an das Bohrfutter wird dieselbe Schraube geschnitten, um es damit an der Spindel zu befestigen; zu dem Zwecke muß man aber dieses Futter von stärkerem Metall machen; die Bohrer bleiben dieselben, also auch die innere Einrichtung des Futters. Gegen den in dieses Futter gesteckten Bohrer kann man nun das Bohrstück mit der Hand gegenhalten, oder man stützt es mit der Rückseite gegen den Dorn des Reitstocks und schraubt diesen, wie das Bohren weiter und weiter geht, in demselben Maße vor. — Man kann aber auch das Bohrstück in ein Futter befestigen, dieses auf die Spindel schrauben, den Bohrer in die Bohrrolle stecken, diese gegen die Spitze des Dorns im Reitstock stützen, mit der Hand festhalten und die Drehbank in Bewegung setzen; dann dreht sich das Bohrstück, der Bohrer ruht, man muß aber durch die Schraube rechts hinter dem Dorn diesen, und damit den Bohrer langsam vorschieben.

Größere Löcher werden nur auf der Drehbank gebohrt und man hat sich dazu Bohrer von der erforderlichen Größe zu verschaffen; man giebt ihnen die Form der Centrumbohrer für Holz, nur daß sie im Metall stärker sind; sie haben eine gerade Schneide, deren beide Seitenflächen einen Winkel von fast 90° mit einander bilden; in der Mitte steht, wie bei den Centrumbohrern eine kantige Spitze vor und zu beiden Seiten dieser Spitze sind die Flächen nach entgegengesetzten Seiten geneigt.

Zuweilen ist es nöthig, gebohrte Löcher etwas zu erweitern; dies geschieht durch Reibahlen, fünfseitigen, schwachpyramidalisch sich verjüngenden Stäben aus gehärtetem Stahl, die man, wie andere Werkzeuge, mit einem hölzernen Heft versieht. Man muß deren mehrere von verschiedenen Größen haben.

D) Das Schraubenschneiden ist eins der wichtigsten Geschäfte

des Mechanikers und wer sich sonst mit mechanischen Arbeiten beschäftigt. Für kleinere Schrauben hat man eine Stahlplatte, in welcher sich 10—20 Löcher von verschiedenen Durchmessern befinden, vom kleinsten Caliber von 1mm. bis zu 4mm.; in diese sind Mutterschrauben eingeschnitten, mittelst deren man die Spindeln schneidet. Um die Mutterschrauben zu machen hat man Schraubenschneidstähle, Gewindbohrer

Fig. 63.

(Fig. 63) von verschiedener Dicke, in welche männliche Schrauben von verschiedener Gewindhöhe tief eingeschnitten sind. Gegen das Ende hin, das zuerst gebraucht wird, sind sie etwas verjüngt, auch wohl vierkantig gefeilt, so daß die Schraubengänge nur noch an den Kanten stehen geblieben sind. Jeder dieser Schraubstähle muß in Dicke und Gewinde einer Mutterschraube in der erwähnten Platte genau entsprechen, d. h. in sie passen. Daß die Schraubstähle gehärtet werden, ist selbstverständlich.

Um mit diesen Hülfsmitteln eine Schraube, d. h. Mutter und Spindel in irgend einem Metall anzufertigen, muß man erst bestimmen, von welcher Weite die Schraube werden soll, dann einen Bohrer suchen, der zu dieser Weite der Schraube paßt, denn zu sämmtlichen Gewinden, welche die Platte enthält, gehören ebenso viele Bohrer von entsprechenden Breiten, welche dieselben Nummern tragen, wie die Löcher der Platte und die Gewindbohrer. Hat man einen solchen Satz von Bohrern, Muttern und Gewindbohrern vollständig, so hat man sich bei der Auswahl nur nach der Numer zu richten; sonst aber muß man bemerken, daß der Bohrer immer um die doppelte Höhe eines Schraubenganges schmäler sein muß, als die männliche Matrize, oder nur ebenso weit als die Löcher, welche die Muttern enthalten. Um die Spindel zu erhalten dreht oder feilt man einen Metallstab rund und von der Dicke der Spindelmatrize, an dem Ende indeß, wo man anfangen will, die Schraube zu schneiden, etwas zugestumpft, spannt dieses Stück in den Schraubstock und schraubt die Muttermatrize auf; da diese gehärtet ist, so wird sie in das weiche Metall die Gänge einschneiden; hiebei ist das Metall mit etwas Oel zu fetten, namentlich bei Eisen, Stahl und Kupfer, weniger bei Messing. Die Mutter erhält man, wenn man den richtigen Gewindbohrer in das hierzu gebohrte Loch einschraubt, wobei man ebenfalls etwas Oel anwendet. Sollte das Aufschrauben der Mutter, oder das Einschrauben des Gewindbohrers sehr schwer gehen, „würgen", so ist im ersten Falle die Spindel zu dick, im anderen das gebohrte Loch zu eng. Beiden kann nachgeholfen werden, wenn man die Spindel dünner macht, das Loch mit der Reibahle erweitert. Geht das eine oder andere Geschäft zu leicht, so ist die

Spindel zu dünn, das Loch zu weit. Geht das Aufschrauben der Muttermatrize zu leicht, so ist die Spindel zu dünn und kann eben nur noch zu einer dünneren Schraube gebraucht werden; geht aber das Einschrauben des Gewindbohrers zu leicht, so ist das Loch zu weit und nur zu einer dickeren Schraube verwendbar.

Schrauben von größerem Durchmesser schneidet man mit der Kluppe (Fig. 64). Sie besteht aus einer dicken Eisenplatte mit zwei Griffen a,a, und einer rechteckigen Oeffnung, die jedoch nach der einen Seite hin etwas breiter gemacht ist. Diese Oeffnung ist zur Aufnahme der Gewindbacken bestimmt; dies sind zwei Stahlkörper, in welche das Gewinde eingeschnitten ist, in jeden die Hälfte. Damit diese Körper sich nicht aus der Oeffnung herausschieben können, sind die beiden einander gegenüberstehenden Längsseiten der Oeffnung zu einem dreiseitigen Prisma abgeschrägt, so daß der Durchschnitt in der Linie bb die Figur A annimmt; die einzuschiebenden Gewindbacken haben dann an den diesen Flächen zugekehrten Seiten eben solche prismatische Einschnitte. Vor den zwei Backen befindet sich noch ein ebenso in diesem Falz verschiebbarer Körper, gegen den die Schraube c wirkt. Die Backen werden so gestellt, daß der zu schneidende Cylinder ebenso hineingezwängt werden kann, wie wenn man mit der Gewindplatte eine Schraube schneidet; man spannt den Cylinder in den Schraubstock und schraubt das Gewinde auf. Solcher Backenpaare hat man mehrere für verschiedene Gewinde. Die Muttern werden durch entsprechende Gewindbohrer gemacht.

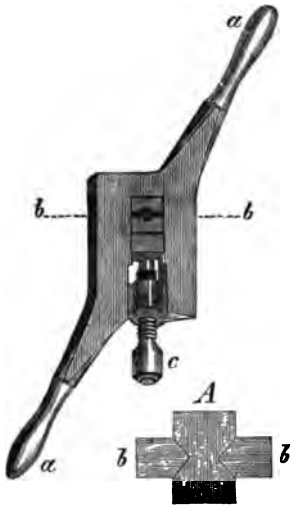


Fig. 64.

Endlich kann man auch Schrauben auf der Drehbank schneiden; dazu gehören je zwei Schraubstähle für jedes Gewinde, einer für die innere Schraube, einer für die äußere, wie bei den Holzschrauben (Fig. 50 u. 51). Es erfordert einige Uebung ehe man auf der Drehbank eine gute Schraube in Metall wird schneiden können; man übe sich zuerst in Holz, dann in Messing, endlich in Eisen und Stahl. Soll eine männliche Schraube gemacht werden, so spanne man den dazu bestimmten Metallcylinder in das Klemmfutter, lege den Drehstahl auf die Vorlage so, daß derselbe das Arbeitsstück nur eben berührt und zwar so, daß die vordere Linie des Drehstahls, in welcher die Spitzen

der Gänge liegen, schiefe Winkel mit der Seite des Cylinders bildet, die linke Seite hinter der rechten zurücksteht, also noch gar nicht den Cylinder berührt; dann drehe man das Schwungrad nur halb herum und wieder zurück, führe aber den Schraubstahl von Rechts nach Links hin, fange wieder von Vorne an, in die schon durch die erste Drehung vorgezeichneten Gänge einsetzend, immer nur halb herum drehend, und fortfahrend, neige man den Schraubstahl allmählig mehr und mehr nach der Parallelen zu den Cylinderseiten hin, so daß mehr Gänge des Drehstahls mitarbeiten. In dieser Weise fährt man fort, bis die Gänge die rechte Tiefe haben. Man muß diese Arbeit mit ganz geringem Druck verrichten und sich vor zu kräftigem Einschneiden in Acht nehmen; dies würde die Schraube gewiß verderben.

Zur Hohlschraube wird man manchmal den Raum ausdrehen müssen; wenn dies geschehen, setzt man den Schraubstahl für die Mutter gegen die vordere Kante dieser Höhlung, dreht ebenfalls wieder nur halb herum, fängt immer wieder von Vorn an und neigt den Schraubstahl mehr und mehr in die Richtung der Parallelen zu den Seiten des Hohlcylinders.

Sowohl die Spindel als der Hohlcylinder müssen, bevor man die Schraube einschneidet, auf ihre cylindrische Form geprüft werden. Dies geschieht mit dem Fühlhebel (Fig. 65). Er besteht aus einem Rahmen ABCDE, woran der getheilte Kreisbogen EF angebracht ist; ab, cd bildet ein doppeltes Zeigerwerk, das durch die Feder ef in der richtigen Lage erhalten wird. Bei mn ist der Arm BC durchbohrt, um einen Stift einzuführen, der sich mit etwas Reibung vor- und rückwärts schieben läßt.

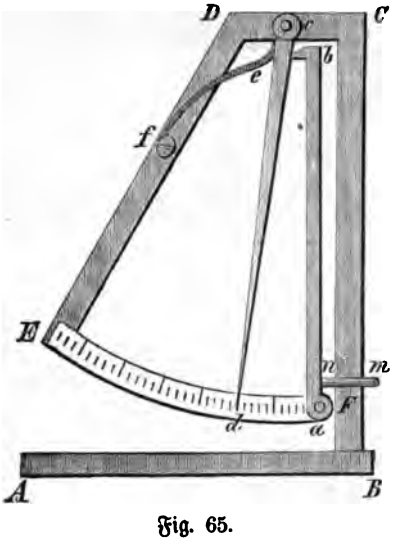


Fig. 65.

Um mit dem Fühlhebel eine äußere gedrehte Rundung zu prüfen, befestigt man das Instrument mit dem Arm AB an der Drehbank, bringt den Zeiger cd auf Null, legt den Stift mn mit seinem äußeren Ende m gegen das Arbeitsstück und versetzt die Spindel in Drehung. Ist die Rundung richtig kreisförmig, so wird der Zeiger auf demselben Punkte verharren, sonst aber hin- und herschwanken.

Um auch ein hohles Drehstück prüfen zu können ist auf den Stift mn bei m noch ein gegen die Ebene der Figur senkrechtes Stäbchen angebracht; dieses wird gegen die hohle Fläche angelegt, wo dann jede

Abweichung von der centrischen Form das Stäbchen mn verschiebt und sich somit durch Aenderung des Zeigers cd auf dem Kreisbogen EF zu erkennen giebt.

Die Schraubenspindeln erhalten gewöhnlich messingene Köpfe; man feilt den hinteren Theil der Spindel eckig, bohrt in das Messingstück, woraus der Kopf gemacht werden soll, ein Loch und schlägt das Ende der Spindel hinein, dreht den Kopf ab und ränderirt ihn mit dem Ränderirrädchen (Fig. 66). Oft aber bildet der Kopf mit der Schraube einen einzigen Körper, beide sind aus einem Stück gemacht; solche Köpfe erhalten entweder, wenn sie flach sind, einen Einschnitt für den Schraubenzieher, der schon in (Fig. 4.) dargestellt ist; oder es werden zwei Löcher in den Kopf gebohrt, in die man beim Oeffnen und Schließen der Schraube zwei Stahlstifte eines Schraubenschlüssels (Fig. 67) einsetzt und damit die Schraube rechts oder links dreht; statt

Fig 66.

Fig. 67.

eines besonderen Schlüssels bedient man sich bei größeren Schrauben auch wohl der Spitzen einer Drahtzange. Manchmal wird der Schraubenkopf senkrecht zur Spindelachse durchbohrt und mittelst eines hindurchgesteckten Stifts, des Schraubhebels (Fig. 68 welche zugleich eine links gewundene Schraube vorstellt,) gedreht. Man macht auch eckige Schraubenköpfe, über die man passende, hohl gefeilte Schlüssel (Fig. 69) stülpt.

Die Schraube ist ein schätzbares Hülfsmittel der Mechanik; sie muß aber auch, damit sie stets ihre Dienste zu thun im Stande sei, sehr sorgfältig behandelt werden. Einige Winke in Bezug auf diesen Punkt werden umso weniger überflüssig erscheinen, als man täglich Gelegenheit hat, wahrzunehmen, wie oft dagegen gefehlt wird.

Beim Aufsetzen der Mutter auf die Spindel, oder der Spindel auf die Mutter muß man sich sehr vorsehen, daß es in richtiger Lage des aufgesetzten Theils geschehe; setzt man schief auf und schraubt dann, so verdirbt man, namentlich bei engen Gewinden, sofort den ersten Gang, bei öfterem Wiederholen einen Gang nach dem anderen. Ehe man dreist zuschraubt muß man vorsichtig und ohne Anwendung von

Druck verſuchen, ob die Gänge in einander greifen; greift die Schraube nicht gleich an, ſo ändere man die Lage des Stücks, welches man in der Hand führt, ſuche möglichſt nach dem Augenmaß die richtige Lage heraus und verſuche wieder, und ändere ſo lang, bis der erſte Gang willig und ohne Reibung eingreift; die folgenden greifen dann ganz von ſelbſt ein.

Fig. 68.

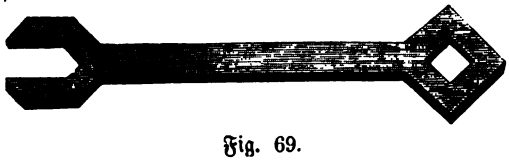


Fig. 69.

Beim Löſen einer Schraube begeht man zuweilen Fehler, welche wenigſtens den Kopf verderben, wenn derſelbe auf einen Schraubenzieher eingerichtet iſt; bei den übrigen oben angegebenen Arten der Köpfe iſt weniger Gefahr. Hier liegt nun der nächſte Grund zu Fehlern in der Wahl des zu verwendenden Schraubenziehers. Die Breite der Bahn des Schraubenziehers ſollte allemal dem Durchmeſſer des Schraubenkopfs gleich ſein. Man muß alſo mehrere, wenigſtens vier Schrauben-

zieher verschiedener Größe haben; die schmäleren sind an der Bahn auch dünner, die breiteren dicker, und danach richtet auch jeder Mechaniker den Einschnitt im Kopfe ein. Ist die Bahn des Schraubenziehers kürzer als der Durchmesser des Kopfes, so drückt man die Kanten in die Seitenwände des Einschnitts, namentlich wenn der Kopf aus einem weichen Metall, wie Messing oder Kupfer, besteht, und man verliert, wegen der Verkürzung des Hebelarms, an bewegender Kraft. Ist dagegen die Bahn des Schraubenziehers breiter als der Durchmesser des Kopfes, so wird, bei versenkten Köpfen, die Mutter beschädigt. Unpassende Schraubenzieher gleiten leicht aus, dadurch wird der Rand des Einschnittes leicht verletzt, bei öfterer Wiederholung abgestumpft, so daß endlich der Schraubenzieher gar nicht mehr fassen kann. Ist nämlich der Schraubenzieher zu breit, so ist die Bahn auch dicker als der Einschnitt weit ist, paßt nicht hinein und gleitet aus; ist die Bahn zu dünn, so schlottert der Schraubenzieher im Einschnitt, die Kanten legen sich gegen die Seitenwände und machen Eindrücke. Man muß den Schraubenzieher stets senkrecht gegen die Fläche des Kopfes, in der Richtung der Spindelachse fest aufsetzen und während des Drehens so halten, daß er unter keinen Umständen ausgleitet. Die Schraubenzieher bekommen sonst abgeschrägte Flächen, die mit einander einen sehr kleinen spitzen Winkel bilden, an der Bahn gehärtet und blau angelaufen sind, also nicht wegen Sprödigkeit ausbrechen werden; ist aber ein Schraubenzieher aus irgend einem Grunde, wegen zu großer Härte, oder weil er unverantwortlicher Weise zu anderen Zwecken, als wozu er bestimmt ist, gebraucht worden, was zuweilen von solchen, die ihre Werkzeuge nicht respectiren, geschieht, an der Bahn beschädigt, ausgebrochen, oder schartig geworden, oder wegen zu großer Weichheit des Metalls abgestumpft, so daß sich Wülste gebildet haben, so sollte er in diesem Zustande nicht weiter gebraucht werden. Kleinere Fehler können durch Anschleifen corrigirt werden; sind sie bedeutender, so sollte man ihn ausglühen, damit er weich wird, und ihm durch Feilen die rechte Form wiedergeben, wonach er dann wieder gehärtet wird. Die käuflichen Schraubenzieher, wie man sie in den Händen der gewöhnlichen Handwerker sieht, sind fast durchgehends fehlerhaft, die Seitenflächen der Bahn sind zu steil, der dazu verwendete Stahl ist zu schlecht und nicht richtig gehärtet, daher stumpfen sich beim Gebrauch die Ecken ab und die Bahn bildet keine gerade Linie mehr.

Wenn man zwei Metallstücke durch Schrauben auf einander befestigen will, so wird natürlich nur in das untere, vom Schraubenkopfe entferntere, eine Schraube geschnitten, das obere erhält blos eine Bohrung von entsprechender Weite, in die Spindel werden auch nur so weit Gänge geschnitten als sie in die untere Platte eingreift. In vielen Fällen soll die obere Fläche der Schraubenköpfe mit der Oberfläche des damit befestigten Metallstücks in eine Fläche zu liegen kommen, nicht darüber hervorragen. Zu dem Zwecke werden die Köpfe *versenkt* (Fig. 70.); man giebt den Köpfen gegen die Spindel zu kegelförmige Flächen und reibt oder dreht das Bohrloch, welches die Schraube aufnehmen soll, ebenfalls

kegelförmig aus, so daß die beiden Kegel gleiche Neigung haben und in einander passen. Eine dreikantige Feile wird an der Spitze so zu einem körperlichen Dreieck zugeschliffen, daß die Kanten an der Spitze unter rechten, oder selbst etwas stumpfen Winkeln zusammenstoßen; damit werden die Eingänge der Bohrlöcher entweder aus freier Hand oder auf der Drehbank ausgerieben. Man hat auch eigene Versenkungsbohrer

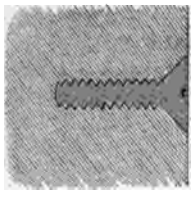


Fig. 70.

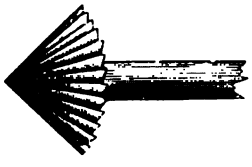


Fig. 71.

(Fig. 71.). Ein rundes Stahlstück ist am Ende zu einem Kegel abgedreht, in der Richtung der Seiten des Kegels feilt man dann noch Furchen in den Mantel, härtet den Kegel und schleift ihn ab; um den Kanten der Furchen die nöthige Schärfe zu geben wird man auch diese mit einem besonders dazu geformten Stein ausschleifen.

E) Das Löthen. Sollen zwei Metallkörper bleibend mit einander verbunden werden, so geschieht es durch Löthen. Das Löthen besteht darin, daß man zwei gleich- oder ungleichartige Metalle mittelst eines im geschmolzenen Zustande dazwischen gebrachten dritten Metalles verbindet. Das bindende Metall heißt das Loth. Das Loth muß leichter schmelzbar sein als die beiden zu verbindenden Metalle; diese müssen erhitzt, das Loth aber geschmolzen werden; die anzuwendende Hitze richtet sich nach der leichteren oder schwereren Schmelzbarkeit des Lothes. Es giebt verschiedene Arten des Lothes.

1) Weichloth, d. h. leichtflüssiges, das aber auch keine große Festigkeit hat.

a) Zinn gebraucht man zum Löthen von Schmiedeeisen, Kupfer, Zink, Blei, Gold und Silber. Es schmilzt bei 230° C.

b) Gewöhnliches Schnellloth, aus Zinn und Blei bestehend, wird zu allen Arten von Metallen, ausgenommen Gußeisen verwendet; 2 Th. Zinn und 1 Th. Blei schmilzt bei 170° C. und heißt schwaches Schnellloth; 1 Th. Zinn und 2 Th. Blei schmilzt bei 182° C. und heißt starkes Schnellloth.

c) Wismuthloth aus 2 Th. Zinnloth und 1 Th. Wismuth, schmilzt bei 99° C. und wird für feine Arbeiten, die selbst leicht schmelzen, verwendet.

2) Hartloth ist strengflüssiger und härter, kann daher mehr Hitze und mechanische Gewalt vertragen, heißt deshalb auch Schlagloth.

a) Gußeisen, dient für geschmiedetes Eisen.

b) Kupfer für Schmiedeeisen.

c) Messingloth, Messingschlagloth, aus 2 bis 3 Th. Messing und 1 Th. Zink.

d) Silberschlagloth aus 6löthigem Silber (den schlechteren Silbermünzen) wird zu Silberarbeiten, feinen Arbeiten von Messing, Kupfer, Stahl und Eisen verwendet.

e) Feines Gold für Platin.

f) Goldschlagloth aus Gold und Silber, oder Gold, Silber und Kupfer, oft mit einem Zusatz von Zink; für Gold und feine Silberwaaren.

Die aus zwei und mehr Metallen bestehenden Löthmittel werden durch Zusammenschmelzen der betreffenden Metalle bereitet; je nach der Schmelzbarkeit der einzelnen Metalle wird diese Schmelzung entweder in einer eisernen Schmelzkelle, dem Schmelzlöffel, oder in einem unschmelzbaren Tiegel vorgenommen. Von den weichen Lotharten gießt man sich dünne Stangen, von denen man nach Bedarf das nöthige Quantum leicht abtrennen kann. Die harten Lotharten müssen in fein vertheiltem Zustande vorhanden sein; man hält eine reine Eisenplatte bereit, legt darauf einen nassen Reisbesen und gießt die geschmolzene Masse darauf: oder man gießt diese in Wasser, das in beständiger Bewegung gehalten wird. Zu physikalischen Zwecken wird man an Hartloth höchstens Messing- und Silberloth gebrauchen. Bei der Bereitung schmelze man das Messing zuerst und setze dann das Zink zu. Das Silberloth erhält man, wenn man eine Silbermünze mit dem Hammer auf dem Amboß zu einem dünnen Plättchen schlägt, von dem man vorkommenden Falls ein Stückchen mit der Scheere abschneidet.

Wenn zwei Metallstücke zusammengelöthet werden sollen, so müssen die Flächen, in denen sie sich berühren werden, ganz metallisch rein, frei von Oxyd, Fett oder anderen fremden Körpern sein, denn das Loth bindet nur reine, reguliniſche Metallflächen; man muß also die Stellen, wo das Loth sie verbinden soll, und selbst noch etwas darüber hinaus, je nach Umständen, durch Feilen, Scheuern, Schaben, Kratzen ꝛc. reinigen, und darf sie, wenn das Löthen gelingen soll, nachher auch nicht einmal mehr mit dem Finger berühren. Man schleife eine abgenutzte Feile an einer Kante scharf zu, so daß der Hieb die scharfe Kante nicht zahnig macht, so hat man ein zum Zweck des Abschabens sehr brauchbares Instrument; feilen darf man nur da, wo ein geringer Verlust an der Dicke keinen Schaden bringt.

Die zu löthenden Metallkörper müssen genau auf einander passen; gewöhnlich werden sie sich in ebenen Flächen berühren sollen; dann muß man dafür sorgen, daß die Flächen auch wirklich eben sind; das Loth würde zwar die Unebenheiten ausfüllen, es würde aber an den hohl liegenden Stellen zu dick werden und dann nicht halten. Die Löthflächen dürfen auch nicht zu klein sein; in solchem Falle muß man seitwärts Plättchen dagegen löthen. Während des Löthens müssen die Körper fest mit einander verbunden sein, so daß kein Verschieben oder Verrücken möglich ist. Man bindet daher die Körper mit dünnem Eisen-

draht zusammen. Der Draht muß jedoch vor dem Gebrauche ausgeglüht werden, weil er sonst beim Festdrehen brechen würde. Man wird vortheilhaft solchen Draht bereit halten, um, wenn Etwas davon gebraucht werden soll, so viel als nöthig ist mit der Zange davon abzukneifen. Das Ausglühen einer größeren Länge Drahts geschieht auf folgende Weise: man wickelt den Draht um ein Stück Holz, legt das Ganze in ein Heerd- oder Ofenfeuer, oder hält es mit der Kohlenzange in die Bunsen'sche Gasflamme; wenn die ganze Drahtmasse in heller Rothgluth ist, nimmt man sie aus dem Feuer und kühlt sie im Wasser ab. Bei kleinen Gegenständen kommt man manchmal, statt des Bindens, mit Drahtklemmen aus, wie (Fig. 72) sie vorstellt.

Fig. 72.

Wenn die rein geputzten Metalle ohne Weiteres ins Feuer gebracht und dadurch erhitzt würden, so würden sie sich oxydiren und das Loth würde nicht binden. Man muß daher diese Flächen gegen den Luftzutritt schützen, indem man sie einhüllt; das Bedecken würde aber lange nicht ausreichen, die Oxydation zu verhindern, denn die Luft würde überall, wo durch die Hitze irgend ein Verschieben des deckenden Körpers veranlaßt würde, hinzudringen und die Oxydation bewirken. Die hierzu verwendeten Körper müssen entweder desoxydirend wirken oder die sich bildenden Metalloxyde sofort auflösen. Desoxydirend wirkt das gewöhnliche Löthwasser, auflösend der Borax; jenes wird beim Weichlöthen, dieser beim Hartlöthen gebraucht; man nennt sie Flußmittel.

Das Weichlöthen. Nachdem die zu löthenden Metalle gereinigt, bestreicht man die Löthstelle mittelst eines Pinsels oder einer Federfahne mit Löthwasser, bringt sie in die gehörige Lage und verbindet sie durch Draht oder durch eine Klemme, bestreicht auch die Fugen von Außen noch mit Löthwasser, legt dann mit einer Pincette einige kleine Stückchen des Lothes in die Fugen und bringt das Ganze mittelst einer Zange in die Spiritus- oder (nicht rußende) Bunsen'sche Gasflamme. Wenn die Flüssigkeit ausgetrocknet ist, kann man noch einmal Löthwasser auftragen, wieder erhitzen bis das Loth schmilzt; es fließt dann überall hin, wo Löthwasser hingekommen ist, auch in die Fugen zwischen den beiden Körpern. Man nimmt die Arbeit aus dem Feuer und kühlt sie in Wasser ab. Statt das Loth in Stücken aufzulegen kann man auch, nachdem das Metall schon ziemlich erhitzt worden, blos ein Stängelchen Loth mit der erhitzten Löthstelle in Berührung bringen; es wird sogleich schmelzen und verlaufen. Auf nicht vollkommen reinen Flächen schmilzt zwar das Loth, aber verläuft nicht, bildet Kugeln und bindet nicht.

Der Löthkolben ist auch ein Mittel zum Weichlöthen. Man

bedient sich desselben allemal dann, wenn an dem Körper noch andere Löthungen mit Weichloth bereits gemacht sind; man darf nämlich einen solchen Körper nicht im Ganzen erhitzen, weil sonst die anderen Löthungen aufgehen würden; man muß also die Hitze möglichst auf die zu löthende Stelle beschränken. Der Löthkolben (Fig. 73) besteht aus einem Stück

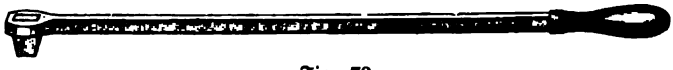


Fig. 73.

massiven Kupfers, etwa in der Form eines Hammers, auf einer Seite mit einer keilförmig zugehenden geraden Bahn; dieser Körper ist an einem eisernen Griff befestigt, der noch mit einem hölzernen Heft versehen ist. Die etwas stumpf abgerundete Bahn wird sorgfältig verputzt, mit Löthwasser bestrichen, im Kohlenfeuer erhitzt und mit Löthmetall bestrichen, oder statt dessen, auf einer Platte des Löthmetalls hin- und hergerieben, bis sie einen Ueberzug des Löthmetalls angenommen hat. Nachdem die Löthstelle mit Löthwasser bestrichen, erhitzt man den Kolben und berührt die löthenden Stellen damit. Wenn an der Bahn des Löthkolbens nicht mehr genug Loth ist muß man ihn von Neuem verzinnen. Man hat darauf zu achten, daß der Löthkolben nicht heißer wird als daß gerade das Loth fließt. Es giebt zu besonderen Zwecken auch Löthkolben in anderen Formen, z. B. mit einer stumpfen Spitze, oder wie es sonst im einzelnen Falle die Form der Löthstelle nöthig macht. Wenn man Eisen mit Weichloth löthen will, so erfordert es eine etwas größere Hitze und bindet sich überhaupt schwerer; es ist daher zweckmäßig, beide Stücke erst zu verzinnen und dann die so verzinnten Flächen an einander zu löthen, so z. B. wenn man zwei Eisendrähte an einander löthen will.

Das Hartlöthen. Die Zubereitung der Löthstellen bleibt dieselbe wie beim Weichlöthen. Man macht sich in einer Schale einen Brei von gestoßenem Borax und Wasser, dem man kleine Stücke des Lothes beimengt, trägt diese Masse auf die Löthstelle auf und erhitzt sie über der Spiritusflamme mäßig. Der Borax quillt dabei auf, schmilzt theilweise in seinem Krystallwasser, welches verdunstet; das Salz bildet nun eine backende Masse, die an dem Löthstück haftet und so leicht nicht mehr abfällt, daher auch die Löthstelle vor Luftzutritt und Oxydation schützt. An einer feuersicheren Stelle, etwa in einem Kohlenbecken, das man auf den Tisch mit Steinplatte setzt, mache man ein Kohlenfeuer (von Holzkohlen), bereite darin ein geeignetes Lager für das Löthstück, indem man eine Holzkohle mit ziemlich ebener Fläche horizontal hinlegt, lege das Löthstück darauf, dann rings um und oben darauf gleichfalls Kohlen, so jedoch, daß man es von einer Seite fortwährend sehen kann, um den Fortgang der Schmelzung des Lothes zu beobachten. Mit einem Federflügel erzeuge man nun einen dauernden Luftzug, so wird das Löthstück in Gluth kommen und das Loth schmelzen; sobald dies ge-

sehen höre man mit Wedeln auf, entferne die glühende Umhüllung, nehme das Lothstück aus dem Feuer und kühle es im Wasser ab.

Mit der Bunsen'schen Gasflamme von der Einrichtung der (Fig. 39—41) kann man auch hart löthen, wenn man den Gegenstand auf eine Kohle legt und mit Kohlen umgiebt. Ferner kann man kleinere Gegenstände vor der Spiritusflamme mit Anwendung des Löth- oder Blaserohrs hart löthen, z. B. mit dünnen Silberpättchen.

Die gelötheten Gegenstände müssen nach dem Abkühlen noch verputzt werden, jedes Oxyd muß entfernt, die Flächen müssen blank gefeilt oder geschliffen, alles überflüssige Lothmetall muß entfernt werden.

F) Das Lackiren. Messingene Instrumente werden, wenn sie fertig sind, noch mit einem Firniß überzogen, weil sie sonst von der Luft bald oxydirt und alles gute Ansehen verlieren würden. Den Firniß bereitet man, indem man 1 Th. Schellack in 4 bis 5 Th. Alkohol von 90 bis 96 % auflöst und filtrirt. Ehe man indeß an's Filtriren geht, lasse man den Firniß auch nach geschehener Auflösung noch 24 Stunden ruhig stehen; es setzen sich dann die schleimigen Theile, welche sich nicht auflösen, zu Boden und können so beim Filtriren der klaren Flüssigkeit darüber zurückgelassen werden. Das Filtriren geht schneller von Statten, wenn man die Auflösung an einer warmen Stelle stehen hat, man muß dann aber den Trichter mit einer Glasplatte zudecken, um das Abdünsten zu verhindern.

Andere Harze, außer Schellack, dem Firniß beizumengen, wie Manche vorschreiben, ist überflüssig, da der Firniß dadurch nicht verbessert wird. Dieser einfache Schellackfirniß kann, ohne filtrirt zu werden, als Holzpolitur gebraucht werden. Wie beim Poliren des Holzes, so gilt auch für das Lackiren der Metalle die Regel: je glatter und feiner eine Fläche, die polirt oder lackirt werden soll, geschliffen ist, desto leichter ist die nachfolgende Arbeit und desto besser und schöner wird sie.

Um eine fertige Arbeit aus Messing zu lackiren, erwärmt man sie, wenn sie klein, über der Spiritusflamme, größere über Kohlenfeuer. Das Metall beschlägt dann mit den sich bildenden Wasserdämpfen; man erwärmt dann weiter, bis die Flächen wieder ganz trocken sind, und dann noch etwas weiter, aber nicht so viel, daß der Firniß, wenn er aufgetragen wird, zischt. Hat das Arbeitsstück den richtigen Hitzegrad erreicht, so trägt man den Lack mit einem feinen Haarpinsel auf, der je nach der Form und Größe der zu lackirenden Flächen größer oder kleiner, breit oder rund ꝛc. gewählt wird. Während man den Lack aufträgt, kann man ab und zu immer wieder mäßig erwärmen, aber ja nicht zu viel. Die Pinselstriche müssen durchweg nach derselben Richtung gemacht werden, und zwar nach der Richtung, in welcher bei der Herstellung der Fläche verfahren wurde. Jedes Stück muß mehreremal lackirt werden, jedesmal aber muß der vorige Auftrag vollkommen trocken geworden sein, ehe man einen neuen giebt; auch sollte man lackirte Sachen nicht vor dem völligen Trocknen mit Fingern betasten. Theile von Instrumenten, die sich bei dem gewöhnlichen Gebrauche in

Berührung mit anderen Flächen an diese reiben, werden nicht lackirt; der Lack würde sich doch bald abreiben.

Will man den Metallgegenständen eine schwarze Farbe geben, so lackirt man sie mit Asphaltlack, der sich in Steinöl und Terpentinöl vollkommen auflöst; 1 Th. Asphalt in 3 Th. Terpentinöl gelöst giebt einen schönen Lack. Soll aber eine schwarze Fläche matt sein, um z. B. kein Licht zu reflectiren, so bestreicht man das Messing mit einer Auflösung von salpetersaurem Silberoxyd; diesen Anstrich wiederholt man mehreremal, nachdem der vorige trocken geworden.

4. Bearbeitung des Korks.

Korkpfropfen braucht man theils zum Verschluß vieler Flaschen und Gläser, in denen feste und flüssige Körper aufbewahrt werden, theils auch vielfach bei den Versuchen, wo man sie oft durchbohren muß, um Glasröhren hindurchzustecken. Die gewöhnlich im Handel vorkommenden Korke sind zu diesem Zwecke nicht brauchbar, weil sie zu porös sind. Um gute, dichte Korke zu bekommen, muß man sich an einen Korkschneider wenden, der Korke für Mineralwasserfabrikanten liefert, und dann gleich eine größere Quantität in verschiedenen Größen bestellen. Die Korke müssen alle schwach konisch zulaufen, die dünneren $1—1\frac{1}{2}$ cm., die dickeren 2, zu einzelnen Zwecken auch wohl 3—4 cm. lang sein. Die Dicke muß am dünneren Ende von 3 mm. bis zu 4 cm. variiren. Sich die Korke selbst zu schneiden, gelingt selten recht und erfordert viel Zeit und eigene Messer, vor Allem viele Uebung. Indessen kommt es doch vor, daß man an einem vorhandenen Kork Veränderungen zu machen hat; ist viel abzunehmen, so geschieht es mit einem dünnen und scharfen Messer, das man mehr sägeartig bewegt als durch Druck, also während des Schneidens stets der Länge nach fortschiebt; zuletzt muß man mit Raspel und Feile nachhelfen, um dem Kork die richtige Rundung zu geben.

Sollen Glasröhren durch Korke gesteckt werden, so werden sie mit den Korkbohrern durchbohrt; diese sind in (Fig. 19) dargestellt. Man wähle den Bohrer etwas enger als die Röhre ist, denn diese muß sich nur mit Reibung in der Bohrung bewegen lassen, soll oft auch gar luftdicht schließen. Fällt die Bohrung zu eng aus, so kann sie mittelst einer runden Feile erweitert werden, wobei indeß darauf zu sehen, daß dieselbe immer cylindrisch bleibe. Glasröhren, die durch gebohrte Korke gesteckt werden sollen, dürfen am Ende keine scharfen Ränder haben.

Korkscheiben werden oft gebraucht, um Flächen, zwischen welche Glasröhren, Gefäße, Retorten- und Kolbenhälse eingeklemmt werden sollen, wie z. B. bei den Korkzangen der Retortenhalter, damit zu belegen; man kommt oft in den Fall, solche Vorrichtungen zu machen.

5. Von Kitten und sonstigen Bindemitteln.

Es giebt unzählige Arten Kitte; wir haben zum Zweck physikalischer Versuche nur wenige zu besprechen. Der am häufigsten als Kitt gebrauchte Körper ist das Siegellack; es wird allemal gebraucht, wenn messingene oder eiserne Fassungen an Röhren und Gläsern zu befestigen sind. Man muß aber außer dem Lack auch das Glas erhitzen, und zwar so weit, daß das Siegellack, wenn es damit in Berührung kommt, schmilzt, sonst hält das Harz nicht am Glase. Wenn beide Körper diese Hitze haben, überzieht man sie mit dem Siegellack unter fortgesetztem Erwärmen, und bringt das Glas und das Metall zusammen. Fassungen sollten das einzukittende Glas nur gerade willig aufnehmen, keinen eigentlichen Zwischenraum lassen; eine dicke Schicht Lack vermindert nur die Haltbarkeit der Kittung.

Siegellack hält zwar als Kitt lange Zeit sehr gut; aber bei öfterem Gebrauche bekommt es Risse und hält dann nicht mehr luft- und wasserdicht, kann besonders einem Druck nicht widerstehen. Man muß daher solche Kittungen von Zeit zu Zeit erneuern. Am schnellsten wird ein solcher Lackkitt undicht, wenn er beim Versuche mit Wasser in Berührung kommt. Wenn eine solche Kittung vollendet ist, wird zuweilen etwas Lack über die Fugen heraus gedrückt worden sein; diesen putzt man entweder kalt mit einem Messer weg und erwärmt dann die Oberfläche noch einmal, blos um dem Lack seinen Glanz wieder zu geben; oder die Stelle wird sogleich über der Spiritusflamme erwärmt, wo dann der weich gewordene Kitt sich leicht entfernen läßt.

Einen sehr guten Kitt für Glas und Porzellan giebt das Wasserglas.

Dicker Terpentin, namentlich der weiße venetianische, bindet in größeren Flächen sehr gut. Dem Schellack oder Colophonium beigemengt, macht er diese geschmeidiger.

Kreide mit Leinölfirniß zusammen gerieben giebt den Glaserkitt. Dieser wird noch besser, wenn man zur Hälfte Kreide, zur Hälfte Bleiweiß nimmt. Gebrannter Gips bindet an sich schon, wenn er mit Wasser zum Brei gerieben und dann aufgetragen wird; er trocknet rasch und wird dann sehr hart. Ganz besonders hart wird gebrannter Gips mit Leinölfirniß. Ganz vorzüglich ist der oben schon angeführte Kitt aus fein gepulvertem Schwerspath und Leinölfirniß, weil er Säuren widersteht. Leinölfirniß läßt sich auch mit Thon, besonders aber zweckmäßig mit Mennige und Bleiglätte, oder mit jedem besonders, zu Kitt verwenden.

Für Fugen an Dampfmaschinen bedient man sich eines Kittes aus Eisenfeilspänen, Salmiak und Schwefelblumen, der aber sogleich nach der Mischung aufgetragen werden muß, weil er sofort erhärtet.

Sehr zweckmäßig ist bei Versuchen zu vorübergehender Verbindung das sogenannte Klebwachs zu gebrauchen; man schmilzt Wachs und

Terpentin zu gleichen Theilen zusammen und bewahrt es in einer Kruke auf, so daß man dieses Klebmittel stets zur Hand hat.

Arabisches Gummi, Leim, Hausenblase sind bekannte Klebmittel. Das Gummi wird in Wasser aufgelöst; der Leim wird 12 Stunden in kaltem Wasser aufgeweicht, dann gekocht; letzteres geschieht am besten im Wasserbad, d. h. man setzt das Gefäß in ein Gefäß mit Wasser und erhitzt dieses zum Kochen. Zum Aufweichen der Hausenblase nimmt man auf 5—8 Th. Hausenblase 100 Th. Wasser und läßt sie 24 Stunden weichen. Vor dem Einlegen in's Wasser schneidet man die Blase in schmale Streifen, nachdem sie weich geworden, klopft man sie mit einem Hammer und kocht sie $^1/_4$ bis $^1/_2$ Stunde lang.

Da Fette oft als Dichtungen dienen, so können sie auch hier bei den Kitten besprochen werden. Um z. B. Luftpumpenglocken zu dichten, oder sonst Stellen, wo ein Glasrand oder auch ein Metallrand auf Glas oder Metall luftdicht gemacht werden soll, nehme man Hammeltalg, das mit Baumöl zusammen geschmolzen ist; auch reines weißes Wachs, das mit Baumöl zusammengeschmolzen worden, giebt eine vortreffliche Schmiere. Das Verhältniß der beiden Theile muß man sich für den besonderen Fall herausprobiren, z. B. bei der Luftpumpenglocke darf das Fett nicht sehr fest sein, man nimmt hier also mehr Oel und lieber Talg als Wachs.

Fett wird aber auch angewendet, um die Reibung sich bewegender Körper zu vermindern, z. B. an den Zapfen sich drehender Räder. Viele bedienen sich hierzu des Baumöls; aber dieses Oel verdickt nach kurzer Zeit und vermehrt dann sogar die Reibung, statt sie zu vermindern. Am besten eignet sich zu diesem Zwecke das Knochenöl (Klauenfett); es wird nicht leicht ranzig und verdickt von allen Fetten am wenigsten.

V. Verschiedenes.

1. Ordnung in der Aufstellung der Apparate.

Es ist bereits darauf hingewiesen worden daß die Apparate nach einem gewissen System aufgestellt werden sollten. Man wird am zweckmäßigsten sie so ordnen, wie sie beim Unterrichte der Reihe nach gebraucht werden; es wird durch solche Ordnung das Gedächtniß unterstützt, und es ist von der größten Wichtigkeit, daß man jeden Augenblick wisse, wo jedes Instrument, wäre es auch noch so unbedeutend, zu finden sei, kurz, man muß jedes Stück gleichsam blindlings zu finden wissen. Das ist aber nur möglich bei einer systematischen Aufstellung. Der Ordnung halber sollte man von Anfang an ein Inventar über sämmtliche Gegenstände, Instrumente, Werkzeuge, Gefäße, Consumtibilien ꝛc. aufnehmen (gewöhnlich verlangen es die vorgesetzten Behörden), und sollte dasselbe bei der Erweiterung der Sammlung vervollständigen.

2. Eigenthümlichkeiten und Fehler der Apparate.

Manche Instrumente haben ihre Eigenthümlichkeiten, die man beim Versuche, zu dem sie bestimmt sind, erst herausfindet. Was man aber einmal durch Erfahrung festgestellt hat, sollte man sich auch als bleibendes Eigenthum sichern, um nicht noch einmal Zeit darauf verwenden zu müssen; man sollte es entweder im Inventar mit aufnehmen, oder auf einem besonderen Blatt bemerken und dieses dem Instrument an seinem Aufbewahrungsort mit beilegen.

Es kann kein Instrument, selbst bei der sorgfältigsten Arbeit, absolute Richtigkeit gewähren; die einem Instrumente innewohnenden Fehler lassen sich oft nach Maß und Zahl bestimmen und bei den damit anzustellenden Versuchen, oder den damit zu machenden Beobachtungen berücksichtigen und dann unschädlich machen; ebenso, wie, wenn man den Gang einer Uhr kennt, d. h. weiß, wie viel sie in einem Tag vor- oder nachgeht, diese Unrichtigkeit durch Correction der Beobachtungen unschädlich gemacht werden kann. Noch ein Beispiel hierzu. Bei einer Fallmaschine wird man, um die Zapfenreibung des Rades zu überwinden, außer dem zu einer gewissen Beschleunigung erforderlichen Uebergewicht, noch ein besonderes kleines Gewichtchen zulegen müssen, Falls die Linse des Pendels so gestellt ist, daß dieses richtige Secunden schlägt. Dieses Zusatzgewichtchen muß man durch einen sorgfältig angestellten Versuch bestimmen, dann entweder das Gewichtchen selber mit den Nebenapparaten aufbewahren, oder sein absolutes Gewicht verzeichnen und die Notiz zu den Nebenapparaten legen.

3. Nonien.

Mit den Scalen und Theilungen der Meßapparate sind meist Nonien verbunden. Bei der Feinheit der Theilungen macht es einige Mühe, den Werth der Nonien herauszufinden und die Arbeit kostet mehr Zeit, als man während einer kurzen Unterrichtsstunde zu verlieren hat. Hat man in einer Sammlung, was nicht fehlen wird, mehrere solche Apparate, so wird man nicht leicht von jedem die Theilungsart des Nonius im Gedächtniß behalten, da sie bei jedem Instrument eine andere sein wird. Es wird dies um so schwieriger, je seltener man das eine oder andere Instrument gebraucht. Um jeder Zeit gleich orientirt zu sein, sollte man die Nonientheilung entweder im Inventar bemerken, von dem man ein Exemplar im Cabinet selbst aufbewahrt, — oder man sollte sie auf einen Zettel schreiben und dem Instrument selbst beilegen.

4. Hülfsapparate.

Bei manchen Instrumenten hat man diese oder jene Hülfsapparate nöthig; einige werden vom Mechaniker zugeliefert, andere muß man sich

selbst anfertigen, als da sind: Drähte, Haken, Pfropfen, die gerade in bestimmte Oeffnungen passen, für bestimmte Glasröhren gebohrt sind, Tara zu bestimmten Gefäßen u. s. w. Alles dies muß, einmal ausprobirt, eigens bei dem Hauptinstrument verwahrt werden; diese Vorsicht kürzt die zu den Versuchen erforderliche Zeit sehr ab.

5. Das Reinigen der Apparate.

Wie überall, so ist auch bei jedem Apparat die Reinlichkeit die Seele und Erhalterin des Ganzen. Staub und Schmutz aller Art, anklebende Ueberbleibsel aus früheren Versuchen machen den Apparat nicht blos unansehnlich und verleiden jede Beschäftigung damit, sofern es das ästhetische Gefühl verletzt, sondern zehren an ihm von Tag zu Tag und arbeiten unaufhörlich an seiner Zerstörung. Solche Unreinlichkeiten bestehen zunächst in aufliegendem Staub. Beim besten Verschluß ist es nicht möglich, den Staub ganz fern zu halten; man kann ihn aber von Zeit zu Zeit entfernen, um die Instrumente, so zu sagen, in greifbarem Zustande zu erhalten; denn wer möchte sie nur anfassen, wenn sie ganz von Staub bedeckt sind? — Aber, wenn man den Staub nicht fern halten kann, wie soll man ihn, wenn er sich wo eingefunden hat, wieder entfernen, um gerade dadurch dem Instrument nicht mehr Schaden zuzufügen, als der Staub selbst anrichten würde? Es giebt Physiker, welche den Staub von den Instrumenten gar nicht abwischen wollen, weil das Abwischen meist Ritzen und Schrammen verursacht. Allein man kann dabei doch auch in einer Weise verfahren, welche in dem Grade nicht nachtheilig ist, daß man das Liegenlassen dem Abwischen vorziehen müßte. Wer Sinn für Reinlichkeit und Ordnung hat, wird den Staub auf den Instrumenten gerade nicht in dicken Schichten sich ansammeln lassen. Von allen feineren Flächen, mögen sie aus Glas, polirtem Holz oder gefirnißtem Messing bestehen, entfernt man den aufliegenden Staub am unschädlichsten durch einen Pinsel aus Dachshaaren, den man, je nach der Größe der zu reinigenden Flächen, größer oder kleiner nehmen wird. Metall- und Holzflächen werden kaum noch ein Mehreres bedürfen, sonst mag man sie mit feinem Leinenzeug nachputzen. Gläser, namentlich solche, die zu optischen Zwecken dienen, reinige man, nach Entfernung des Staubes mit dem Dachshaarpinsel, dadurch, daß man ein weißes leinenes Läppchen in Wasser taucht, welchem gepulverte Schlemmkreide beigemengt ist, lasse aber doch erst das gröbste sich zu Boden setzen; der Lappen wird dann getrocknet, das zu reinigende Glas behaucht und mit dem getrockneten Lappen abgerieben. Sollte noch etwas Kreidestaub darauf zurückbleiben, so wird er mit dem Pinsel entfernt. Bei Gläsern ohne Metallfassungen kann man auch Weingeist anwenden. Haben aber die Gläser gefirnißte Fassungen, so muß man sich hüten, dieselben mit dem Weingeist zu berühren, weil sonst der Firniß leidet; besser ist es, die Gläser aus den Fassungen herauszunehmen, in vorgeschriebener Weise

zu reinigen und dann wieder einzusetzen. Hat man es aber mit Glaslinsen zu thun, so ist zu bedenken, daß diese meist nicht auf beiden Seiten gleich geschliffen sind; man muß dann genau darauf achten, sie in der Fassung wieder in dieselbe Lage zu bringen, d. h. jede Fläche nach der Seite zu richten, nach der sie in Beziehung zur Fassung vorher gerichtet war. Die achromatischen Doppelgläser bei Fernröhren und Mikroskopen wird man besser gar nicht aus einander nehmen; sie sind in der Regel so gefaßt, daß nicht leicht Staub zwischen die Gläser eindringen kann. Sollte man sehr alte Gläser dieser Art in die Hände bekommen, bei denen eine Reinigung der Innenflächen unvermeidlich ist, so muß man sie nach der Reinigung so zusammenbringen, daß die Gläser einmal einander dieselben Seiten zukehren, wie vorher, dann aber auch genau wieder mit denselben Punkten auf einander zu liegen kommen wie vor der Reinigung. Endlich liegen an gewissen Punkten kleine Stanniolplättchen zwischen ihnen; auch diese müssen wieder an dieselben Stellen gelegt werden. Um alles dies genau wieder zu treffen, mache man vor dem Auseinandernehmen der Gläser an den betreffenden Stellen deutlich zu unterscheidende Marken an den Rand, nicht auf die geschliffenenen Flächen, etwa mit chinesischer Tusche, und richte sich beim Zusammenlegen genau danach.

Wenn gefirnißte Messingflächen durch wiederholtes Befassen an Glanz verloren haben, so reinige man sie ebenfalls mit einem feinen leinenen Tuch, entweder trocken, oder mit reinem Wasser befeuchtet, und beobachte denselben Strich, in dem sie gefirnißt worden sind. Nach und nach verlieren solche Flächen an Ansehen und sollten dann vom Mechaniker frisch gefirnißt werden, wobei zu bemerken, daß der alte Firniß vorher durch starken und heißen Spiritus ganz entfernt werden muß.

Am häufigsten kommt es vor, Gegenstände von Fett zu reinigen, womit sie während der Versuche in Berührung gekommen sind. Aeußerlich anhängendes Fett entfernt man zunächst mit einem hölzernen Spatel, d. h. einem Stück Holz, an das man eine scharfe Kante geschnitten hat, so weit es gehen will; von dem, was dann noch zurückbleibt, nimmt man so viel wie möglich mit Löschpapier oder Tüchern weg. Danach bleiben aber die Flächen immer noch fettig, die letzten Reste werden nur durch auflösende Mittel zu entfernen sein; welche Mittel man aber anwenden soll, kommt auf die Natur des zu reinigenden Körpers an. Sind es gefirnißte Flächen (wohin auch polirtes Holz zu rechnen), so darf man höchstens Seifwasser oder eine schwache Lösung eines Alkali anwenden, Soda oder Kalilösung, wodurch das Fett ganz zu entfernen sein wird. Bloße, nicht gefirnißte, Glasflächen kann man zwar auch durch die eben angeführten Mittel reinigen, schneller gelangt man aber zum Ziele mittelst Alkohol oder Aether.

Schwieriger ist es, das Innere von Gefäßen zu reinigen. Man suche auch hier so viel von dem Fett wie möglich auf trockenem Wege, durch mechanische Mittel zu entfernen, schüttle dann wiederholt mit

einer Alkalilösung oder Seifwasser, lasse auch wohl diese darin stehen, spüle mit reinem Wasser nach, um die gebildete Seife zu entfernen, endlich wende man noch Alkohol oder Aether an. Um die angewendeten Flüssigkeiten in innige Berührung mit den fettigen Stellen zu bringen, vereinige man die auflösenden Mittel mit den mechanischen, man greife mit Borstenpinseln an langen Stielen hinein und reibe die eingefüllte Flüssigkeit an der Wand herum; an einzelne Theile von Flaschen und Kolben ist aber mit dem Pinsel nicht zu gelangen; man fülle dann groben Sand oder kleine Kieselsteine, auch wohl Eisenfeile in die Flasche, dazu die lösende Flüssigkeit, und schüttle damit so, daß alle inneren Theile davon getroffen werden. In manchen Fällen erleichtert man die Arbeit, wenn man die Flasche mit der Flüssigkeit umgekehrt stehen läßt, wobei man sie, ohne Kork, mit der Oeffnung in ein Gefäß mit derselben Flüssigkeit stellt; die Flüssigkeit erhält sich darin nach dem torricellischen Gesetz. Nachgehends werden dieselben Mittel wieder angewendet. Gerade so verfährt man, wenn irgend welche Stoffe sich im Innern an die Gefäßwände angesetzt haben und hartnäckig daran haften. Die hiebei anzuwendenden Flüssigkeiten müssen nach der Natur des anhaftenden Körpers gewählt werden, manchmal werden die für Fett genannten ausreichen, zuweilen wird man für gläserne Gefäße mehr oder minder starke Säuren anwenden müssen; weiß man nicht, was für ein Körper es ist, so muß man nach einander verschiedene Flüssigkeiten versuchen, bis man auf eine kommt, welche den Körper löst. Mitunter ist Anwendung von Wärme zweckmäßig, wenn überhaupt das Gefäß ein solches ist, daß man ohne Gefahr eine Flüssigkeit darin erhitzen kann, nämlich nicht aus zu dickem Glase besteht. Ein nicht zu unterschätzendes Reinigungsmittel für fettige Substanzen ist das Wasserglas. Mechanische und lösende Mittel im Vereine werden meist zum Ziele führen.

6. Das Lösen festsitzender Flaschenpfropfen.

Es kommt manchmal vor, daß der gläserne Pfropfen einer Flasche so fest im Halse sitzt, daß er durch gewöhnliche Mittel nicht herauszubekommen ist. Der Grund davon kann darin liegen, daß durch das Ausgießen der in der Flasche enthaltenen Flüssigkeit die innere Fläche des Halses benetzt worden, ein Theil der Flüssigkeit ist zwischen Hals und Pfropfen festgehalten, die Flüssigkeit, in der irgend ein fester Körper aufgelöst ist, verdunstet, läßt den festen Bestandtheil zurück, dieser bildet bei manchen Körpern gleichsam einen Kitt zwischen den beiden Glasflächen, wodurch der Pfropfen festgehalten wird. Dies ist namentlich der Fall bei denjenigen Körpern, welche das Glas angreifen, wie die Alkalien und ihre Salze. In solchen Fällen gieße man auf den Flaschenhals in den kleinen Raum zwischen dem Halsrand und Pfropfen destillirtes oder Regenwasser, oder, wenn angenommen werden kann, daß dieses den Körper nicht löse, sonst ein geeignetes Lösungsmittel

(z. B. wenn eine alkoholische Harzlösung in der Flasche wäre, so würde man Alkohol aufgießen); dies lasse man längere Zeit darauf stehen, indem man die aufgegossene Flüssigkeit, wenn sie verdunstet sein sollte, von Zeit zu Zeit erneuert. Oder man tauche die Flasche umgekehrt (mit dem Hals nach Unten) in ein das Lösungsmittel enthaltendes Gefäß, indem man aber den Pfropfen auf den Boden des Gefäßes aufstützt, damit er nicht etwa von selbst herausfallen kann. Beim Herausnehmen fasse man den Pfropfen mit zwei Fingern der einen Hand, drücke ihn leise in den Hals und hebe mit der anderen die Flasche heraus; ist die Flasche nur lange genug eingetaucht gewesen, so wird sich der Pfropfen meist leicht herausziehen lassen. Je höher die Flüssigkeit in dem äußeren Gefäß steht, desto mehr drückt sie sich in den Flaschenhals hinein und befördert dadurch die Lösung. Hat man Grund anzunehmen, daß das Lösungsmittel bei höherer Temperatur sicherer oder schneller zum Ziele führe, so stülpe man die Flasche in eine erwärmte Flüssigkeit, sehe sich aber vor, daß sie nicht zu heiß sei, weil einerseits der Flaschenhals, da er aus dickem Glase besteht, springen, andererseits die in der Flasche enthaltene Luft bei zu starker Erhitzung die Flasche zersprengen könnte.

Um nicht zu oft in den Fall des Festsitzens der Pfropfen zu kommen, sollte man die Pfropfen und die innere Fläche der Flaschenhälse mit Talg einreiben, wenn Flüssigkeiten in die Flaschen gefüllt werden sollen, welche das Glas angreifen, z. B. bei den Lösungen der Salze der Alkalien. Das Innere der Flaschen wird von den alkalischen Salzlösungen nicht so bald angegriffen, weil da der Schmelz vorhanden ist, der am Hals und Pfropfen in Folge des Schleifens fehlt. Bei längerem Stehen werden übrigens auch die mit dem vollen Schmelz versehenen Flächen von den Alkalien angegriffen.

Glaspfropfen halten aber in den Flaschenhälsen oft auch darum fest, weil der Pfropfen in den Hals gesteckt worden, als der Hals wärmer als der Pfropfen war, wo denn der Hals sich erweitert hatte, den Pfropfen also tiefer eindringen ließ, als wenn beide gleiche Temparatur gehabt hätten. Nachdem der Hals zu der Temparatur des Pfropfens herunter gekommen, muß er sich zusammengezogen haben, enger geworden sein, und preßt nun gewaltsam gegen den Pfropfen, so daß dieser bei aller angewendeten Kraft nicht weichen kann. Ist dies der Grund des hartnäckigen Festhaltens, so erwärme man den Hals der Flasche ringsum gleichmäßig über einer Spiritusflamme; die Flamme muß ziemlich groß sein, damit die Erwärmung des Halses schnell von Statten geht, ehe die Wärme bis zum Pfropfen zu dringen Zeit hat. Der Hals dehnt sich aus, der Pfropfen aber noch nicht, daher wird er frei. Da der Hals aus dickem Glase besteht, so kann er beim Erwärmen leicht springen; man muß deshalb ringsum gleichmäßig erwärmen, also das Glas in der Flamme fleißig umdrehen, nicht zu stark erwärmen, da dies gar nicht nöthig ist. Hauptsache ist, daß die ganze Procedur rasch von Statten gehe. Befindet sich eine Flüssigkeit

in der Flasche, so muß man während des Erwärmens die Flasche so halten, daß die Flüssigkeit nicht bis an den Hals reicht, weil sonst das Glas springen würde; auch würde die Erwärmung dann so viel Zeit in Anspruch nehmen, daß der Pfropfen mit erwärmt würde. Ist freilich die Flasche voll, so ist schwer zu helfen. Dieses Verfahren hilft übrigens oft auch, wenn der Pfropfen wegen fester Niederschläge zwischen Hals und Pfropfen festsitzt, Falls dies nur nicht solche sind, die das Glas angreifen.

7. Anschaffung physikalischer Apparate.

Heut zu Tage, wo die Speculation in allen Zweigen menschlicher Thätigkeit aufs Aeußerste getrieben wird, giebt es verschiedene Wege, sich in den Besitz von Instrumenten zu setzen. Entweder bestellt man sie bei bewährten Mechanikern, oder man kauft sie aus Magazinen, wo sie vorräthig gehalten werden. Ob das Eine oder Andere vorzuziehen sei hängt von der Art der Apparate ab. Glas- und Porzellansachen wird man unbedingt von Händlern nehmen, die sie in großer Zahl vorräthig halten, um so mehr, als weder Glashütten noch Porzellanmanufacturen sich auf so geringfügige Bestellungen, wie der Einzelne sie machen kann, einlassen werden. Kann man selbst an den Ort hinkommen, von wo man die Gegenstände bezieht, so wird man sie sich nach Bedürfniß und den Anforderungen entsprechend aussuchen, jedes Stück besehen und prüfen, und danach entscheiden, ob es zu nehmen sei oder nicht. Befindet man sich aber in größerer Entfernung von einer Stadt, woher diese Dinge zu beziehen sind, so sollte man sich bemühen, am Orte selbst irgend einen Sachverständigen aufzufinden, der sich der Mühe unterziehen möchte, die anzukaufenden Gegenstände auszusuchen und dabei mit der nöthigen Um- und Einsicht zu Werke zu gehen. Nicht jedes Individuum, das der Händler von der Glashütte oder Porzellanfabrik unter den Hunderten von Stücken seiner Bestellung bekommt, ist tadellos; der Einheimische, der selbst das Aussuchen besorgen kann, wird das Beste aus dem ganzen Vorrath nehmen, das Fehlerhafte zurückschieben. Kommt nun eine Bestellung von Außerhalb, z. B. auf ein Dutzend Kolben, Abrauchschalen u. s. w., so werden natürlich die ersten in die Hände fallenden 12 Stück genommen, verpackt und fortgeschickt; es kann nicht fehlen, daß hierunter wenigstens einige Individuen sind, die den Anforderungen nicht entsprechen, möglicher Weise ganz unbrauchbar sind, das erstemal, wo sie ins Feuer kommen, bersten und neben dem pecuniären Verlust, den sie dadurch herbeiführen, einen Versuch verderben. Grund genug, bei der Anschaffung solcher Gegenstände alle Vorsicht anzuwenden. Man könnte allerdings die mangelhaften Exemplare zurückschicken. Porto-, resp. Frachtkosten, die Mühe des Wiederverpackens ꝛc. halten Einen gewöhnlich davon ab und man behält unter einer Sendung einige unbrauchbare Stücke.

Außer den Glas- und Porzellansachen giebt es noch eine Menge

anderer Dinge, die man von denselben Quellen beziehen kann, z. B. alle Arten Draht, besponnen und nicht besponnen, Elemente zu galvanischen Batterien, Aräometer und Thermometer, wenn die Verfertiger angegeben sind und diese durch anerkannten Ruf Gewähr leisten, alle Arten Gegenstände von Kautschuck, mit der oben (S. 23.) empfohlenen Vorsicht: ebenso wird man einige von den aufgeführten Werkzeugen, die mehr nur zu wissenschaftlichen, physikalisch-chemischen Zwecken angefertigt werden, von solchen Lagern am besten beziehen; dagegen die auch im Handwerk üblichen, wie Feilen, Hämmer, Messer, Zangen ꝛc. besser aus soliden Stahlwaarenhandlungen bezogen werden.

Was die eigentlich physikalischen Instrumente anlangt, so wird man diese immer am besten bei zuverlässigen Mechanikern bestellen. Es dürfte aber nicht zweckmäßig sein, Alles von ein und demselben zu nehmen, da die eine Werkstatt mehr auf dieses, eine andere mehr auf jenes eingerichtet ist. Bei der Ausdehnung, in der heut zu Tage physikalische Apparate gebraucht werden, und bei der großen Verschiedenartigkeit derselben haben sich viele Werkstätten auf einzelne Zweige beschränkt und liefern denn darin Vorzügliches. So z. B. giebt es Werkstätten für optische Instrumente, andere für galvanische, wieder andere für messende Instrumente mit Theilungen, besondere Glasbläser, die ausgezeichnete Barometer, Thermometer, Aräometer ꝛc. anfertigen, und so besondere Künstler für andere Zweige der Physik. Will man also sehr gute Instrumente haben, so sollte man sich die Werkstätten für solche Specialitäten aufsuchen und Dinge, wofür es solche giebt, auch dort bestellen. Nun giebt es freilich wieder viele Mechaniker, die eigentlich Alles machen, auch sehr gut die unzähligen, zum Unterricht erforderlichen Instrumente anfertigen können, einen gewissen Tact darin erlangt haben, die Instrumente zur anschaulichen Darstellung der Erscheinungen einzurichten. Auch diese wird man in den geeigneten Fällen in Anspruch nehmen, da der formale Nutzen des Unterrichts ganz besonders von der anschaulichen Darstellung der Erscheinungen und ihrer Gesetze abhängt.

8. Aus- und Einpacken der Apparate.

Wenn man Instrumente von anderen Orten her, gleichviel auf welchem Wege, erhält, so sind die Kisten entweder durch Schrauben geschlossen oder vernagelt. Ersteres sollte eigentlich die Regel sein. Schrauben lassen sich mit einem geeigneten Schraubenzieher leicht öffnen. Vernagelte Kistendeckel machen mehr Mühe. Einmal will man doch die Kiste, die man dem Absender in der Regel, ja, über die Gebühr bezahlen muß, nicht gern zerstören; dann aber kann durch die Erschütterungen beim Oeffnen leicht Etwas vom Inhalte beschädigt werden. Mit Hammer, Meißel und Zange und einigem Geschick für solche Arbeiten ausgerüstet wird man übrigens auch dieses Geschäft ohne sonderliche Fährlichkeiten zu Stande bringen.

Manche Instrumente werden, der Vorsicht halber an mehreren Stellen theils an den Boden, theils an die Seitenwände der Kiste angeschraubt; man wird also auch diese Schrauben lösen müssen, ehe man die betreffenden Gegenstände herausnehmen kann. Zuweilen werden Holzstäbe über die verpackten Instrumente gelegt und diese mit ihren Endflächen an die Kistenwände geschraubt. Ist ein einzelnes größeres Instrument in der Kiste, so bedarf es, bei solcher Versicherung durch Schrauben und Knebel, keiner weiteren Ausfüllung der hohlen oder leeren Räume. Besteht aber die Sendung aus mehreren verschiedenen Gegenständen, so werden sie möglichst getrennt von einander gehalten, damit sie sich nicht gegenseitig stoßen und reiben. Man benutzt zur Ausfüllung je nach Umständen Heu, Werg, Papier, namentlich Papierspäne der Buchbinder, trockenes Moos, Sägespäne ꝛc., macht auch wohl Papierbeutel, die man mit diesen Gegenständen anfüllt und zubindet, damit kein Staub dieser Füllung auf die Instrumente komme. Je nach der Natur der Gegenstände und nach der Art ihrer Verpackung gehört mehr oder minder Aufmerksamkeit dazu, um beim Auspacken nicht Mißgriffe zu machen. Vor Allem sei man besonnen und nicht hastig; nehme so viel von der Füllung heraus, als sich entfernen läßt ohne die Instrumente zu rühren, dann so viel Instrumente, als gerade dadurch frei geworden, dann wieder etwas Füllung u. s. w. Die ausgepackten Instrumente lege man, wenn es viele kleinere Dinge sind, alle sorgfältig und reihenweise auf einen leeren Tisch, um sie nachträglich klar zu übersehen. Manches ist auch wohl noch besonders in Papier gewickelt, zerbrechliche Gegenstände sind in weiche Stoffe gehüllt, z. B. in Werg oder Baumwolle u. dgl. Um zu erfahren, in welchem Zustande diese angekommen, wird man sie ebenfalls frei legen, und endlich die ganze Sendung, Stück für Stück, mit der Liste oder Rechnung darüber vergleichen, um zu sehen, ob Etwas fehlt.

Da man zuweilen selbst Instrumente zu Reparaturen oder Aenderungen nach einem anderen Orte zu schicken haben wird, so verwahre man die Kisten und selbst die Füllungen, für solche Fälle auf. Ich pflege alle Verpackungsmittel in die Kiste zu stopfen, den Deckel lose aufzuschrauben und das Ganze so nach dem Hausboden zur Aufbewahrung zu schicken. Da die Emballage theuer bezahlt werden muß, so lohnt es für Anstalten mit geringen Mitteln in der That, auch mit diesen Dingen nicht verschwenderisch umzugehen.

Manche Instrumente erhält man vom Verfertiger noch in besonderen, verschließbaren Behältnissen, in denen sie auch künftig verwahrt werden sollen. Es sind dies polirte Mahagonikasten und werden besonders für Mikroskope, Fernröhre, tragbare Inductionsapparate u. v. a. gebraucht. Gewöhnlich gehören zu dem Hauptinstrument mehrere Nebenapparate, die in dem Kasten alle ihren bestimmten Platz haben und nur gerade so, wie man sie beim Oeffnen vorfindet, darin untergebracht werden können. Ehe man daher an den Instrumenten rührt, oder Etwas davon herausnimmt, merke man sich genau die An-

ordnung aller Theile, denn leicht kann es kommen, daß man beim Wiederhineinlegen irgend ein Stück verkehrt anbringt; schließt man dann den Deckel, so entsteht in den Instrumenten hier und da ein Druck, der Spannungen hervorbringt, welche schlimme Folgen haben können.

Es wird immer einmal vorkommen, daß man Instrumente oder sonst zerbrechliche Gegenstände zu verpacken hat. Wer nicht schon anderweitig Uebung darin sich erworben hat, wird sicher Fehler machen, so daß die verpackten Gegenstände verdorben am Ort der Bestimmung ankommen. Es lohnt also wohl, daß man auch diese Fertigkeit sich aneigne. Wer keine andere Gelegenheit dazu findet, wird am besten thun, die Verpackungen, die er von Mechanikern selbst erhält, mit voller Aufmerksamkeit zu betrachten und es vorkommenden Falls gerade ebenso zu machen.

Eine Hauptbedingung ist immer, dafür zu sorgen, daß die verpackten Gegenstände sich während des Transportes nach keiner Richtung hin rücken und rühren können. Man braucht nur einmal an Poststationen, auf Bahnhöfen und anderen Ein- und Ausladestellen zuzusehen, wie mit Kisten, Ballen und Packeten verfahren wird, um sich von der Nothwendigkeit eines sorgsamen Verpackens zu überzeugen. Bei dem gegenwärtigen Aufschwung der Industrie und des Handels hat der Verkehr eine Ausdehnung gewonnen, daß Rücksichten auf Einzelnes kaum mehr genommen werden, es wird Alles en gros behandelt. Daher muß Sicherheit für das, was rohe Packknechte in die Hände bekommen, lediglich von der Sorgfalt und Festigkeit, mit der das Verpacken besorgt worden, erwartet werden; auf Rücksichten von Seiten des dienenden Personals an den Verkehrsstellen ist nicht zu rechnen.

Man verwende also zum Verpacken nur feste und dauerhafte Kisten, die einen Stoß vertragen können, befestige größere und schwerere Gegenstände, wenn sie etwa nicht nach allen Seiten hin gegen die Wandungen der Kiste anstoßen, noch durch besondere Schrauben, die man durch Boden- und Seitenwände der Kiste gegen solche Theile der verpackten Gegenstände führt, welchen ein Schraubenloch nicht schadet; gewöhnlich ist dies nur die Unterfläche der Fußbretter. Um noch mehr Versicherungen anzubringen, passe man Stäbe ab, die an entgegengesetzten Seiten der Kistenwände von Außen festgeschraubt werden und, gehörig mit Papier oder sonstigen weichen Mitteln, Werg, Baumwolle ꝛc. umwickelt, gegen die Instrumente sich anlegen und unter allen Umständen sie unverrückt in ihrer Lage erhalten. Die Instrumente selbst erhalten, ehe sie in die Kiste gebracht werden, eine Umhüllung von weichem Papier, die durch dünnen Bindfaden, Zwirn oder Baumwollenfäden festgebunden wird, damit sie sich nicht verschieben kann, was namentlich auch deshalb nöthig ist, weil sonst polirte oder lackirte Flächen beschädigt und unansehnlich gemacht würden. Am sorgfältigsten muß man Glas-, Porzellan- und andere zerbrechliche Gegenstände gegen Verrückungen sichern. Sie werden, jedes einzeln, in weiche Körper, Werg, trockenes Moos, Baum-

wolle ꝛc. eingewickelt und so in die Kiste gelegt, daß sie nicht mit harten Körpern zusammenstoßen, zu diesem Zwecke muß man daher, während des Einlegens, die hohl gebliebenen Räume schon durch weiche Körper, als Stroh, Heu, Papierspäne, trockenes Moos ꝛc. ausfüllen und die zerbrechlichen nach und nach darin einbetten. Größere Glasscheiben werden noch besonders in flache Kisten gepackt und allerseits von weichen Stoffen umgeben; solche kleinere Kistchen schraubt man am sichersten an die Seitenwände der größeren Kiste an, oder befestigt sie daran durch an die Seitenwände geschraubte Stäbe. Zuletzt wird die Kiste mit zweckmäßigen Stoffen ganz voll gefüllt, so daß sich die Füllung stark gegen den Deckel stemmt. Ist jedoch Alles, was in der Kiste sich befindet, unverrückbar durch Schrauben und Knebel an die Wände befestigt, so ist eine solche Ausfüllung des Raumes nicht nöthig. Der Deckel wird nicht mit Nägeln an die Kiste befestigt, sondern aufgeschraubt, namentlich wenn zerbrechliche Gegenstände verpackt sind; einerseits kann die Erschütterung, welche die Hammerschläge veranlassen, das Glas zum Zerspringen bringen; andererseits aber wird die Kiste, namentlich der Deckel beim Oeffnen regelmäßig zerstört, wenn er aufgenagelt war. Man verwendet zum Verschluß die bekannten (eisernen) Holzschrauben und wählt sie, je nach der Dicke der Kistenbretter, länger oder kürzer dicker oder dünner, jedenfalls so, daß sie ausreichend tief ins Holz einfassen und wegen zu großer Dicke nicht das Holz absprengen. Selbst Mechaniker machen nicht selten den Fehler, daß sie die Kisten vernageln, statt sie zu verschrauben.

Zweiter Theil.

Von den physikalischen Instrumenten.

I. Messen und Wägen.

Messen und Wägen sind die Grundlagen jeder Erfahrungswissenschaft. Jedes physikalische Gesetz drückt die gegenseitige Abhängigkeit der Zeit-, Raum- und Kraftgrößen, die bei der betreffenden Erscheinung mitwirken, aus. Man muß also Mittel haben, diese Größen zu *messen*, d. h. auf eine jeder Art der Größen entsprechende Einheit zurückzuführen und die zugehörige Anzahl der Einheiten zu bestimmen. Hierzu dienen *Zeit-*, *Raum-* und *Kraftmaße*.

Zeitmaße liefern die Uhren, auch bloße Pendel, wovon weiter unten die Rede sein wird, Raummaße die Längen- und Hohlmaße, denn bei Flächen und Körpern werden die verschiedenen Dimensionen gemessen und der Inhalt aus diesen durch Rechnung bestimmt, während Hohlmaße den Rauminhalt geschichteter fester Körper und tropfbarer Flüssigkeiten, bei denen die einzelnen Dimensionen nicht meßbar sind, zu bestimmen dienen; Kräfte werden auf Gewichte zurückgeführt; die Wage und Gewichtsstücke sind also die eigentlichen Mittel zur Bestimmung der Kräfte. Zunächst messen sie die Schwerkraft und den dadurch hervorgebrachten Druck, das Gewicht, im weiteren Sinn aber alle anderen Kräfte.

1. *Messen. Maßstäbe.* In einer physikalischen Apparatensammlung muß ein genauer Maßstab vorhanden sein. Nachdem das decimale Metermaß in Deutschland gesetzlich eingeführt worden, wird man einen Meterstab nicht entbehren können. Neben dem Metermaß wird in der Wissenschaft immer noch der alt-französische Fuß nebst Zoll und Linie eine bedeutende Rolle spielen. Man wird sich also von einem Künstler, der mit einer guten Längentheilmaschine versehen ist, das Meter, in Centimeter, das erste Centimeter auch in Millimeter getheilt, anfertigen und auf denselben Stab in ähnlicher Weise das französische Fußmaß mit seinen Abtheilungen auftragen lassen. Solche Maße werden auf versilberte Messingstäbe aufgetragen und die Theilstriche nachgehends mit

schwarzem Lack eingerieben. Zur besseren Erhaltung muß ein solcher Maßstab in einem dazu passenden Etui verwahrt werden. Es ist beim Gebrauche bequem, wenn die beiden Ränder abgeschrägt und die Theilstriche bis auf diese schrägen Flächen gezogen werden. Neben diesem Normalmaße sollte man für gewöhnlich vorkommende Fälle ein Meter mit seinen Unterabtheilungen, auf einen polirten Holzstab getragen, an-

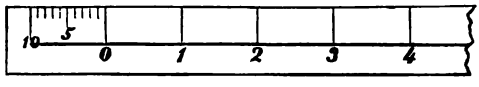


Fig. 74.

fertigen lassen. Da dieser Maßstab zum schnellen Abmessen gebraucht wird, so lasse man links vom Nullpunkt noch ein Centimeter auftragen, es in Millimeter theilen und diese von Rechts nach Links numeriren, d. h. es wird beim letzten Strich links eine 10 geschrieben und der fünfte Theilstrich blos länger als die übrigen gemacht (Fig. 74).

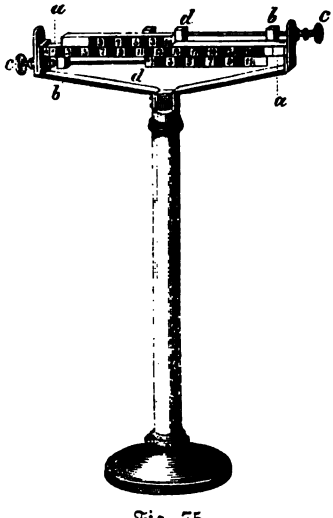


Fig. 75.

Nonien. Ein Apparat zu Unterrichtszwecken muß nothwendig auch ein Mittel haben, den Schülern den Nonius und dessen Gebrauch klar zu machen. Die an messenden Instrumenten vorkommenden Nonien sind zu klein, um sie einer Anzahl von Zuhörern zugleich zu erklären, es kann immer nur einer auf einmal sehen. Man muß daher einen Nonius in vergrößertem Maßstabe anfertigen lassen. Ein solches Modell wird gerade so gemacht wie ein ordentlicher Nonius, nur größer. Auf einem Stativ (Fig. 75) wird ein Maßstab aa, etwa nach richtigen Centimetern getheilt, in horizontaler Lage befestigt; auf dem durch eine feine Schraube c zu verschiebenden Nonius wird die Länge von 9 Maßstabtheilen (cm) in 10 gleiche Theile getheilt; die Schraube dreht sich mit einer örtlichen Verstärkung der Spindel in einem festen Widerhalte b, der mit der Scale (dem Maßstab aa) verbunden ist, und schraubt sich in einer mit dem Nonius verbundenen Mutter d vor- und rückwärts (diese Mutter ist auf der Rückseite und in der Figur nicht zu sehen); da aber die Schraubenspindel keine Bewegung in der Richtung ihrer Achse machen kann, so bewegt sie den Nonius. So erhält man den vortragenden Nonius, in der Figur durch den oberen Theil dargestellt. Gerade so

stellt der untere Theil den nachtragenden Nonius dar, bei dem 11 Maßstabtheile in 10 getheilt sind. Um die Abtheilungen des Maßstabes und des Nonius in die Ferne recht sichtbar zu machen, werden sie abwechselnd aus Messing und durch eingelegte Ebenholzplättchen hergestellt.

Das Calibriren. Es kommt zuweilen vor, daß man Glasröhren in gleiche Volumtheile zu theilen, zu calibriren hat. Man bedient sich dazu eines Maßes aus starkem Glase, dessen Inhalt man nach dem Gewicht mittelst Wasser oder Quecksilber bestimmt; man schleift nämlich den Rand so weit ab, bis das Maß 1 gr. Wasser oder 13,596 gr. Quecksilber faßt. Um genau das verlangte Maß zu haben muß man das Gläschen nach der Füllung mit einem mattgeschliffenen Glasplättchen zudecken und dafür sorgen, daß sich keine Luftblase darunter fängt.

Mit Hülfe solchen Maßes kann man andere, am einen Ende verschlossene Glasröhren nach Cubikcentimeter Inhalt theilen, wenn man nach und nach 1, 2, 3 . . . n solche Maße Wasser einfüllt und jedesmal mit dicker schwarzer Tusche einen feinen Strich macht, den man nachher durch einen Strich mit dem Schreibdiamant ersetzt. Da das Wasser am Glase einen Randwinkel bildet, so wird man die Striche nach der ebenen Fläche, wie sie in der Mitte der Röhrenweite sich zeigt, und nicht nach dem obersten Rande bestimmen. Es interessirt zuweilen, solche Röhre in der Weise nach Cubikcentimeter Inhalt zu theilen, daß die Höhe der Theile zugleich nahe genau 1 cm. beträgt. Man erreicht dies, wenn man eine möglichst regelmäßige cylindrische Röhre von einem Durchmesser $= \frac{2}{\sqrt{\pi}} = 1{,}168$ cm. nach dem Cubikcentimetermaß theilt.

Im Allgemeinen dürfte es besser sein, statt des Wassers Quecksilber anzuwenden, wenigstens wenn die Röhren nicht sehr weit sind. Bei engen Röhrchen, Thermometerröhren und überhaupt allen Capillarröhren, wo man die Flüssigkeit nicht eingießen kann muß man noch wieder anders verfahren. Ist die Röhre an beiden Enden offen, so bringt man durch Ansaugen eine kleine Menge Quecksilber in die Röhre; ist sie am einen Ende geschlossen, so kann man durch Erwärmen der Röhre und Eintauchen des offenen Endes Quecksilber in die Röhre bekommen. Die Menge des so einzubringenden Quecksilbers richtet sich nach der Länge der Theile, die man zu haben wünscht. Ist diese erreicht, wie sie dem vorliegenden Zweck entspricht, so führt man das Quecksilbersäulchen nach dem einen Ende des Röhrchens, oder nach dem Punkte, von dem etwa die Theilung ausgehen soll, macht genau an seinem Ende einen Diamantstrich, führt dann das Säulchen durch Neigung der Röhre so weit, daß sein hinteres Ende mit diesem Strich zusammenfällt, macht an seinem Endpunkt wieder einen Strich u. s. w.

Will man nun prüfen, ob eine Röhre überall gleich weit sei, so bringt man ebenfalls ein Säulchen Quecksilber ans eine Ende derselben, mißt die Länge des Säulchens mit dem Zirkel, wobei man indeß darauf zu achten hat, daß man nicht durch schiefes Sehen Parallaxe erhält, was wegen der Dicke der Glaswände gar leicht geschieht. Sicher zu

vermeiden wäre dies nur, wenn man durch ein Mikroskop mit Faden sähe. Man führt dann das Quecksilbersäulchen etwas weiter in der Röhre, mißt wieder, führt das Quecksilber so durch die ganze Röhre hindurch und mißt an jeder Stelle seine Länge, so erfährt man, ob die Röhre überall gleich weit sei oder nicht, im letzten Falle, wo sie weiter, wo sie enger ist.

2. Wägen. Fallröhre. Alles Wägen beruht auf der Schwerkraft der Erde, und besonders auf dem Gesetz von der gleichen Schwere aller Körper. Um dies durch den Versuch nachzuweisen hatte man früher eine ziemlich complicirte und kostspielige Einrichtung. In der ersten Aufl. meines Lehrbuchs (1838) beschrieb ich den einfacheren Apparat, dem ich auch den Namen Fallröhre gegeben habe. Die Fallröhre ist in (Fig. 76) dargestellt und aus der Zeichnung selber deutlich. Die Schraube s an der unteren Fassung muß auf die Schraube des Luftpumpentellers passen; der Hahn h läßt sich abschrauben; durch die entstehende Oeffnung bringt man ein kleines Stück Metall und einen leichten Körper, eine Flaumfeder oder ein Stückchen Papier in die Röhre, setzt den Hahn wieder auf, schraubt die Röhre auf die Luftpumpe, evacuirt und schließt den Hahn; nimmt man nun die Röhre von der Pumpe, so kann man sie beliebig umwenden, so daß bald das eine, bald das andere Ende oben ist; die hineingelegten Körper fallen dann jedesmal nach dem unteren Ende, und zwar in gleicher Zeit, während in der Luft der specifisch leichtere Körper viel langsamer fällt als der schwerere. Die Körper fallen also, wenn außer der Schwere keine andere Kraft auf sie wirkt, gleich schnell zur Erde, sie sind also gleich schwer. Die Fallröhre ist aus meinem Lehrbuch in die meisten anderen ohne Angabe der Quelle übergegangen.

Fig. 76.

a) Wagen und Gewichte. Zu Gewichtsbestimmungen dienen die verschiedenen Arten der Wagen. Die gewöhnlichen Wagen sind bekanntlich gleicharmige Hebel. Von dieser Art muß man verschiedene Exemplare haben.

Die feine Wage dient zu genaueren Gewichtsbestimmungen; sie wird durch (Fig. 77) dargestellt. Ihre Empfänglichkeit sollte bis zu 0,00001 gehen, d. h. bei 100 gr. Belastung muß 1 mgr. noch einen deutlichen Ausschlag geben. Die Erfordernisse einer guten Wage finden sich in jedem größeren Lehrbuch beschrieben; wir setzen sie als bekannt voraus. Ueber Aufstellung und Gebrauch sind jedoch noch einige Bemerkungen zu machen.

Eine gute Wage zu feinen Abwägungen sollte stets in einem Glaskasten gehalten werden, auch während des Gebrauchs darin bleiben, wes-

halb denn die vordere Glaswand ſich in die Höhe ſchieben laſſen muß; durch eine Feder in dem Falz kann ſie in jeder Höhe feſtgeſtellt werden. Während die Wage nicht gebraucht wird, muß der Balken aus den Pfannen, in welchen die Achſe ihre Unterſtützung hat, herausgehoben und durch zwei Gabeln getragen werden. Die Gabeln werden durch eine gezahnte Stange, in die ein Trieb eingreift, in die Höhe geſchoben und nehmen dabei den Balken auf, das Trieb wird durch einen etwas großen Schraubenkopf bewegt, der ſich unterhalb des Tragſtänders der Wage befindet, während Trieb und Stange im Inneren dieſes Ständers angebracht ſind. Man nennt dies die Arretirung. Es iſt

Fig. 77.

zweckmäßig, der Wage einen Platz anzuweiſen, wo ſie unverändert ſtehen bleiben kann. Sie muß ſo geſtellt werden, daß der Ständer eine verticale Lage erhält, damit die Achſenlager horizontal werden. Um ſie richtig zu ſtellen dienen die drei Stell- oder Fußſchrauben und das Loth an der Seite des Ständers welches immer auf einen beſtimmten Punkt fallen ſoll. Wechſelt man zum Gebrauche den Platz der Wage, ſo muß man auch jedesmal wieder ihre Aufſtellung juſtiren, während ſie bei feſtem, unveränderlichem Stande ein für allemal richtig geſtellt wird und ſo bleibt. Der Ort der bleibenden Aufſtellung iſt ſo zu wählen, daß das Inſtrument weder von directem Sonnenlicht getroffen wird, noch auch ein geheizter Ofen ſtark dagegen ſtrahlen kann.

Bei feinen Wagen (Fig. 77) beſteht der Balken ab aus einem ſehr ſchiefen Rhombus von Meſſing, der vielfach durchbrochen iſt, weil er dadurch leichter wird und für dieſe beſtimmte Maſſe die größte Tragfähigkeit

bekommt. Die Drehachse des Balkens besteht aus einem sorgfältig gearbeiteten Stahlprisma, das mit seiner Kante auf jeder Seite des Balkens auf einem ebenen Achatplättchen ruht. Dieser Theil ist in größerem Maßstabe in (Fig. 78) zu sehen. Der Balken trägt über seiner Mitte eine vertical gestellte Schraubenspindel, auf welche eine messingene Mutter aufgeschraubt wird; je nachdem man diese Mutter mehr oder weniger in die Höhe schraubt, wird der Schwerpunkt des Balkens erhoben und gesenkt; im letzten Falle wird die Wage empfindlicher, im ersten weniger empfindlich. Auf die Spindel wird oberhalb

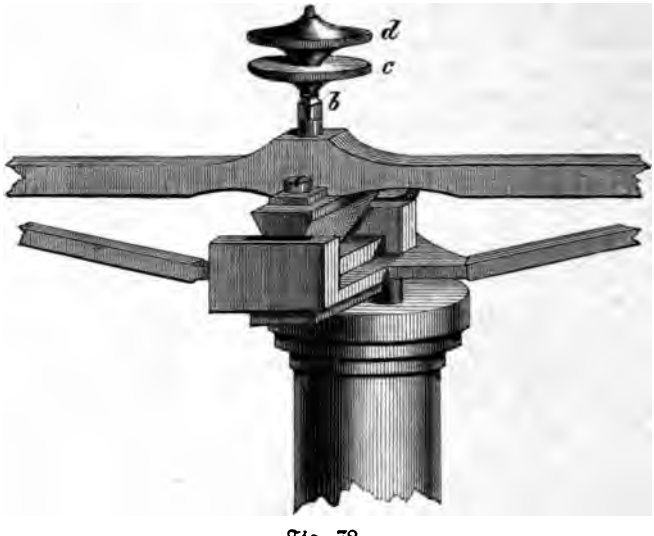


Fig. 78.

c noch eine Sicherheitsmutter d aufgesetzt, um die Schraube c unverrückbar zu erhalten.

Jede Hälfte des Wagebalkens ist an der oberen Kante durch deutliche Striche in 10 gleiche Theile getheilt, bei den Gewichten ist ein feiner Gold- oder Platinadraht, der gerade 0,01 gr. wiegt und so gebogen ist, daß er an den Balken gehängt werden kann. Hängt man den Draht an den ersten Theil von der Mitte aus, so wirkt er wie ein Milligramm am Ende des Balkens, am zweiten Strich wie 2 mgr. u. s. f., so daß man ohne diese feinen Gewichte von 1—10 mgr. doch das Gewicht der Körper auf mgr. bestimmen kann. (Fig 77).

Unten am Balken ist genau in der Mitte seiner Länge ein Zeiger eingeschraubt, der bei horizontaler Stellung des Balkens, d. h. wenn die Wage einsteht, oder beide Schalen gleich belastet sind, eine verticale Lage hat; seine Spitze zeigt auf einen Gradbogen und soll im Fall des

Gleichgewichts auf dem Nullpunkt stehen. Wenn man beim Abwägen bemerkt, daß der Zeiger nach beiden Seiten gleich weit ausschlägt, so kann man dies als ein Zeichen ansehen, daß beide Belastungen gleich seien, und braucht nicht den Stillstand abzuwarten.

An den Enden sind bei c,c (Fig. 77) Stahlplättchen auf den Balken geschraubt, welche zu einer Gabel gebogen sind; durch den äußeren Theil der Gabel ist ein Schräubchen geführt, welches stumpf auf dem inneren aufsteht. Schraubt man das Schräubchen weiter hinein, so wird der äußere Theil vom inneren entfernt, weiter herausgezwängt. An diesem Arm der Gabel hängt aber die Schale; durch Nähern oder Entfernen des äußeren Gabeltheils wird also der betreffende Arm des Wagebalkens verkürzt oder verlängert; diese Vorrichtung kann dazu dienen, eine kleine Ungenauigkeit des Wagebalkens zu corrigiren; auch wenn etwa der eine Arm des Wagebalkens wärmer sein sollte als der andere (was leicht geschehen kann, wenn er einem geheizten Ofen zugekehrt, der andere davon abgekehrt ist), so läßt sich der dadurch entstehende Fehler gleichfalls verbessern. Die Vorrichtungen an beiden Balkenarmen heißen Hunter'sche Correctionsschrauben; sie sind in (Fig. 79) deutlicher zu sehen.

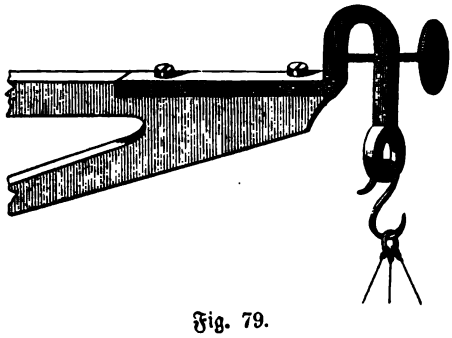


Fig. 79.

Die Schalen hängen oft mit harten Stahlschneiden in eben solchen Stahlschneiden der Hunter'schen Federn. Wo diese Federn fehlen, wird durch den Balken ein Prisma von hartem Stahl gelegt, mit der Kante nach Oben; auf dieser Schneide ruht ein Stahlring der nach Innen gleichfalls zur Schneide gestaltet ist und die Schale trägt. In unserer Figur hängen die Schalen in einfachen Haken, der Ring am Balken ist mit einer Stahlschneide versehen.

Um diese Stahlschneiden vor Abnutzung zu sichern, sollte man sie, so lange die Wage nicht gebraucht wird, von einander trennen, wenigstens sie nicht das Gewicht der Schale tragen lassen. Da, wenn eine Arretirung wegen der Drehachse angebracht ist, nicht wohl noch eine zweite wegen den Schalen Platz finden kann, so wird man die Schalen so lange aushängen, bis die Wage wieder gebraucht werden soll. Die

Schalen hängen an Platinadrähten; wenn sie aber nach jedem Gebrauche abgehoben werden sollen, so wären steife Stäbe bequemer, die denn allerdings von Messing gemacht werden müßten.

Die Vorsicht, die Stahlschneiden aus einander zu heben, ist durchaus nöthig, da eine Formänderung der Schneiden bewirken könnte, daß die Schalen nicht am rechten Punkte hingen, was einer Veränderung der Länge der Balkenarme gleich käme. Man muß überhaupt bei einer feinen Wage Alles vermeiden, was die Stahlschneiden beeinflussen könnte, also jede Erschütterung, wenn die Wage nicht in der Ruhelage ist; auch beim Wägen keine heftigen Stöße veranlassen, also z. B. nie ein aufgelegtes Gewicht, das zu groß befunden worden, abnehmen, ehe nicht das nächst kleinere aufgelegt worden.

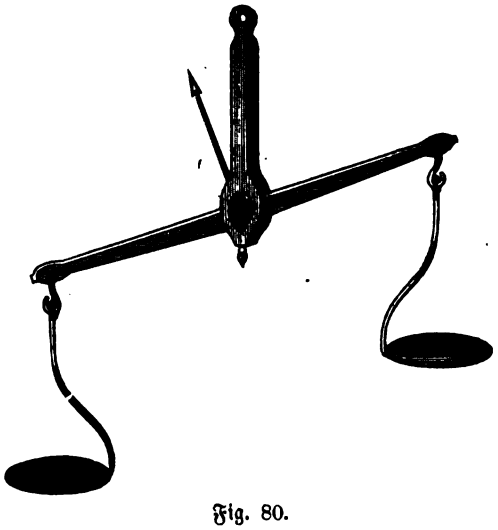


Fig. 80.

Um bei dem Abwägen nicht durch planloses Versuchen Zeit zu verlieren, muß man nach einem bestimmten Princip zu Werke gehen. Wird ein aufgelegtes Gewicht zu groß befunden, so legt man das nächst kleinere auf, ohne eins zu übergehen, dann das folgende, immer der Reihe nach.

Bei feinen Wagen werden Messinggewichte von 500 gr. bis 1 gr. und Platingewichte von 0,5 gr. bis 0,001 gr. geliefert, zuweilen auch nur bis 0,01 gr., wo dann, um Milligramm mit der Wage bestimmen zu können, die Theilung des Balkens in Anspruch genommen werden muß. Man kommt mit der geringsten Zahl von Gewichten aus, wenn man zwei Stücke von 1 gr., je eins von 2 und 5 gr. hat, denn damit kann man jede Zahl von 1 bis 9 gr. herstellen; dann muß man, um wieder mit der geringsten Zahl Gewichtsstücke fertig zu werden, zwei

von 10 und je eins von 20 und 50 gr., zwei von 100 und je eins von 200 und 500 gr. haben. Gerade so richtet man die Zehntel und Hundertel gr. ein, für jede Dekade, resp. Hektade immer vier Stück, die Einheit doppelt, das Zwei- und Fünffache einfach.

Gewöhnliche Handwage. Neben der feinen Wage bedarf man einer Wage, die etwas mehr Tragkraft hat, 5—6 Kgr. Belastung erträgt, aber denn auch nicht nothwendig so genau und empfindlich zu sein braucht. Sie soll zu den gewöhnlichen Versuchen gebraucht werden. Bei solchen Wagen (Fig. 80) besteht der Balken aus Messing oder Eisen, gewöhnlich nicht durchbrochen, die Achse ist ebenfalls ein hartes Stahlprisma, das sich auf harte, stählerne Lager stützt, die eine schwach concave Gestalt haben. Sie wird an einer sogenannten Scheere aufgehängt, in welcher die Zunge (nach Oben hin) spielt. Die Schalen hängen in Ringen mit zugeschärften Rändern. Zweckmäßig ist es, sie nur durch eine Messingstange (keine Kette) mit dem Balken in Verbindung zu bringen; man kann dann bei verschiedenen Experimenten leichter zum Ziele kommen.

Bei der üblichen Aufhängungsweise der zu Versuchen bestimmten Wagen findet der Uebelstand statt, daß sie sich während des Versuchs drehen können; dies sollte man verhindern, was sehr leicht dadurch geschieht, daß man die Scheere oben in eine mit der Vorder- und Hinterfläche des Balkens parallele Scheibe enden läßt, die senkrecht zu diesen Flächen, also von Vorn nach Hinten durchbohrt ist; durch diese Bohrung führt man einen Stift, der in den Ständer, welcher die Wage tragen soll, geschraubt wird. Da der Stift über die Scheere fortreichen muß, so wird er etwas lang und muß daher ausreichend stark gemacht werden. Auch muß er gerade in die Bohrung passen, um jede Drehung zu verhindern; um aber keine Reibung zu veranlassen, muß man ihn recht glatt feilen. Solchen Stift wird man auch in dem Arm der Halterstange anbringen, um die Wage ohne weiteren Ständer, auf dem Experimentirtisch zur Hand zu haben.

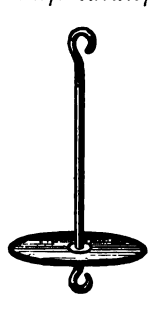


Fig. 81.

Als Gewichte gebraucht man auch zu dieser Wage die der feinen Wage bis 500 gr., die größeren nimmt man von Eisen. Die Empfindlichkeit dieser Wage kann immer noch 0,0001 betragen, also wird bei 5 Kgr. Belastung 0,5 gr. noch Ausschlag geben; ja, sie kann bei guter Arbeit noch genauer sein.

Zu dieser Wage muß man noch eine Schale mit kurzer Aufhängung und einem Haken an der Unterfläche haben, woran man Körper aufhängen kann, die in Wasser oder einer anderen Flüssigkeit abgewogen werden sollen. Sie ist (Fig. 81) gezeichnet.

Es kommt zuweilen vor, daß man einer Wage von größerer Tragfähigkeit bedarf, 15—20 Kgr.; indeß, die Fälle sind nicht sehr häufig,

man wird also lieber erst den Apparat in anderen Beziehungen zu vervollständigen trachten, und Abwägungen möglichst zu theilen suchen.

Tara. Bei Abwägungen muß man oft Gefäße und andere Gegenstände tariren; dazu hält man sich mehrere Blei- oder Zinnkörper, kleinere, mit der Blechscheere geschnittene Metallplättchen und dgl. Als größere Tarirstücke können ausrangirte Gewichtsstücke dienen, die jetzt, nach der Einführung des neuen Gewichts, überall vorhanden sein werden.

Die Schnellwage in kleinerem Maßstabe als die gewöhnliche, aber doch fest und dauerhaft von Eisen gearbeitet, ist zur Veranschaulichung und selbst zu wirklichen Experimenten, z. B. über Cohäsion, ein nützlicher Apparat (Fig. 82). Zwischen a und b ist eigentlich ein

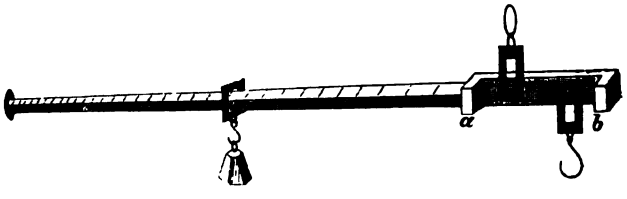


Fig. 82.

Fig. 83.

hohler Raum mit einer Vorder- und Hinterwand, in welche beide die sichtbaren Achsen von prismatischer Form ihre Befestigung haben; die Vorderwand ist in der Figur nicht gezeichnet, um das Innere besser sichtbar zu machen.

Die schwedische Wage findet viele Verwendung im gewöhnlichen Leben und müßte also wohl als Modell vorhanden sein (Fig. 83).

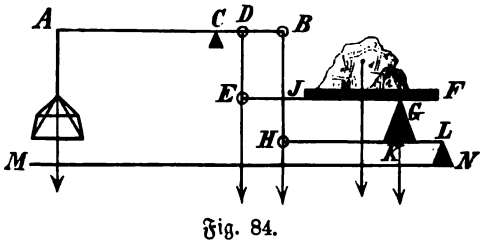


Fig. 84.

Die Decimal- oder Brückenwage. Man kann jetzt Modelle dieses nützlichen Instruments bekommen, bei denen Alles, was bei den gewöhnlichen den Mechanismus verdeckt, von Glas gearbeitet ist. Ein solches Modell muß vorhanden sein. (Fig. 84) stellt die Brückenwage schematisch, (Fig. 85) perspectivisch dar, in beiden bezeichnen gleiche Buchstaben auch dasselbe; in (Fig. 84) sind jedoch nur die zur theoretischen Erörterung und leichten Uebersicht des Ganzen nöthigen Gegenstände aufgenommen. Auf dem Fußbrett MN (welches in Fig. 85, wie in der Wirklichkeit ein Rahmen ist), steht der feste Ständer ST, auf welchem bei C die Lager für die Achse des Wagebalkens angebracht sind. In A hängt die Schale auf stählernem Prisma; in diese werden die Gewichte gelegt; in D und B ruhen auf Stahlunterlagen in Form von Prismenkanten Stahlplättchen, die in die Stangen DE (E ist in Fig. 85 nicht sichtbar) und BH eingelassen sind, so daß sie sich frei darauf

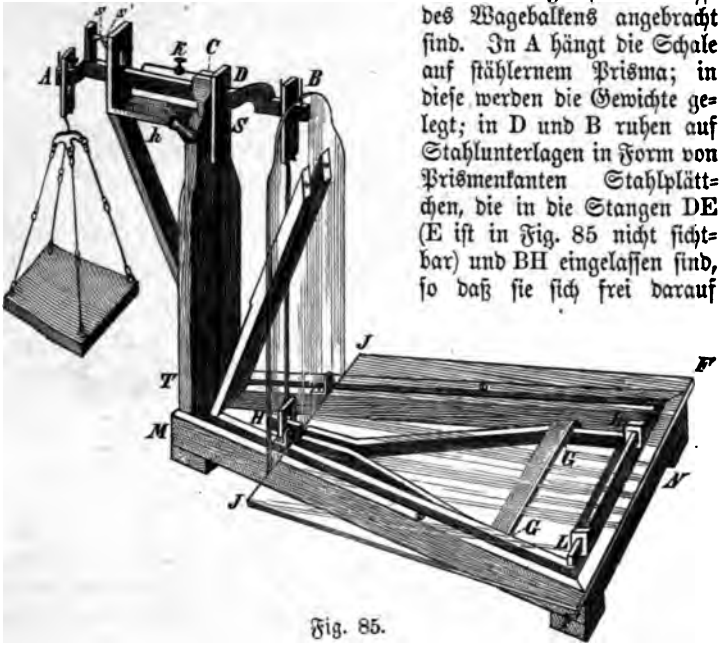


Fig. 85.

bewegen. Die Stange DE ist an einem dreiseitigen Rahmen EF angehakt, auf welchem die Brücke JJFF zur Aufnahme der abzuwägenden Last aufliegt; sie ist an meinem Modell von Glas, daher durchsichtig; die Buchstaben JJFF sind in der perspectivischen Zeichnung an die Ecken dieser, die Brücke vorstellenden Glasplatte gesetzt; den dreieckigen Rahmen sieht man etwas weiter nach dem Inneren der Figur. Die Brücke selbst liegt bei G auf einer Unterlage, welche auf dem gleichfalls dreiseitigen Rahmen HKL (in Fig 85 HLL) festsitzt; dieser Rahmen hat in H ein Gelenk für die Stange BH und in L seinen Stützpunkt. Wie die perspectivische Zeichnung (Fig. 85) zeigt, sind die Unterstützungen in G und L horizontale Stäbe, die an beiden Enden auf Stahlschneiden

ruhen. In (Fig. 85) sieht man nun in s, s' noch zwei Stahlschneiden, welche im Zustande des Gleichgewichts einander gerade gegenüber stehen müssen; bis diese Stellung eintritt muß das Gewicht auf der Wagschale abgeändert werden. Bei h ist ein Hebel, der um einen Punkt drehbar ist; wenn er senkrecht gestellt wird, faßt er den Wagebalken AB gabelförmig und hebt ihn links, d. h. nach dem Ende hin, wo die Schale hängt, so hoch, daß rechts die Schneiden D und B entlastet werden, weil dann die Brücke, mag sie belastet sein oder nicht, rechts auf der festen Unterlage aufliegt.

Zwischen C und A wird noch ein Bügel aus Messingdraht aufgesetzt, auf dem eine kleine Kugel K verschiebbar ist und mittelst einer Schraube festgestellt werden kann. Diese Einrichtung dient, die Wage vor dem Gebrauche zu justiren. Es sollen nämlich die Schneiden s, s' vor der Belastung einstehen; ist dies nicht der Fall, so wird die Schraube gelöst, die Kugel nach Rechts oder Links geschoben, je nachdem s tiefer oder höher als s' steht.

In der theoretischen Entwickelung der Wirkungsweise dieser Wage wird gezeigt, daß, wenn CD : DB = KL : HK (Fig. 84) ist, diese Größen ganz aus der Gleichung des Gleichgewichts herausfallen und diese Gleichung dann, wenn Q die Last und P die zum Gleichgewicht erforderliche Kraft ist, AC. P = CD. Q wird, so daß, wenn noch AC = 10CD oder = 100. CD gemacht wird, ein 10, resp. 100 Mal kleineres Gewicht als die Last ist, das Gleichgewicht herstellt. Unter diesen Bedingungen wirkt also die Last, wie wenn ihr Angriffspunkt in D wäre; es ist also gleichgültig, an welche Stelle der Brücke die Last zu liegen kommt.

b) Instrumente zur Ausmittelung des specifischen Gewichts.

α. Durch die Wage.

Neben einer guten Wage bedarf es zur Bestimmung des specifischen Gewichts fester Körper eines Glases mit eingeriebenem Glasstöpsel. Damit dasselbe einige Bequemlichkeit gewähre, wenn man es bei der Bestimmung des spec. Gewichts tropfbarer Flüssigkeiten benutzen will, sollte es genau 100 gr. destillirtes Wasser fassen. Beim Einsetzen des Stöpsels fängt sich leicht eine Luftblase unter demselben, die denn die Abwägung unrichtig macht; damit dies unmöglich werde, sollte der Stöpsel nach Unten kegelförmig zugeschliffen sein. Um das spec. Gewicht fester und tropfbarer Körper nach der ersten Methode zu bestimmen, braucht man für bloße Unterrichtsversuche gar Nichts weiter. Soll aber das spec. Gewicht eines Körpers zu wissenschaftlichen oder selbst technischen Zwecken ermittelt werden, so muß man erstlich sich beim Abwägen der feinen Wage bedienen; zweitens die Temperatur der abgewogenen Flüssigkeiten bestimmen; man muß dann also noch ein Thermometer haben, das sich bequem in die Flasche eintauchen läßt; es wird zu dem Zwecke gerathen sein, statt einer Kugel ein cylindrisches Gefäß daran anzubringen, damit es ohne Verminderung der Quecksilbermenge doch leicht durch den Flaschenhals gesteckt werden kann.

Zur Beſtimmung des ſpecifiſchen Gewichts nach der zweiten Methode, mit Anwendung des archimediſchen Geſetzes, bedarf man einer Wagſchale mit kurzer Aufhängung und einem Haken an der Unterfläche; ſie iſt in (Fig. 81 S. 85) dargeſtellt. Zum Aufhängen der Körper am Haken bedient man ſich eines feinen Seidenfadens, oder, wenn z. B. ein Glaskörper in Flüſſigkeiten, die den Faden zerſtören würden (Säuren und kauſtiſche Alkalien) getaucht werden ſoll, eines feinen Platindrahts. Sollte das Gewicht der Schale nicht mit dem der anderen ſtimmen, ſo legt man auf die eine oder andere die zum Gleichgewicht nöthige Tara.

Fig. 86.

Das Verfahren wird in jedem Lehrbuch beſchrieben. Für den Fall indeß, daß ein feſter Körper leichter iſt als Waſſer, wo man dann, um ihn unterzutauchen, einen ſchwereren Körper damit verbinden muß, ſollte man zu dieſer Verbindung ein Bindemittel gebrauchen, das mit dem zu unterſuchenden Körper nahezu gleiches ſpec. Gewicht hat. Man wird dies nie in voller Strenge treffen können; wenn man indeß nur ein äußerſt kleines Volumen davon anwendet, ſo dürfte der Fehler, den man begeht, unmerklich werden. Man binde alſo beide Körper mit einem möglichſt kurzen Faden zuſammen.

In den Fällen, wo ein Körper, am Faden hängend, in Waſſer abgewogen wird, bildet dieſer Faden eine Fehlerquelle, der Faden ſollte mit tarirt werden; freilich bleibt dann doch noch ein Fehler, indem der eintauchende Theil deſſelben an Gewicht verliert und dieſer Gewichtsverluſt dem des Körpers zugerechnet wird, deſſen ſpec. Gew. man finden will.

Um das ſpec. Gew. tropfbarer Flüſſigkeiten nach der zweiten Methode zu beſtimmen, ſucht man den Gewichtsverluſt eines Glaskörpers (Fig. 86) im Waſſer und in der zu unterſuchenden Flüſſigkeit und dividirt den letzteren Gewichtsverluſt durch den im Waſſer.

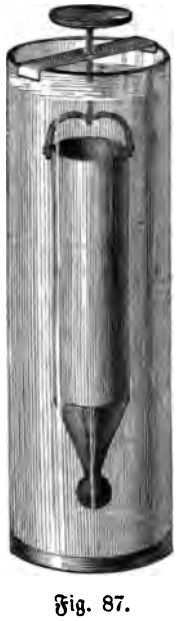


Fig. 87.

β. Durch Aräometer.

Nicholſon'ſches Aräometer. Es beſteht nach der jetzigen Conſtruction aus einem hohlen Meſſingcylinder (Fig. 87) an den unten ein Kegel angeſetzt iſt; an die Spitze ſchließt ſich eine mit Bleiſchrot oder Queckſilber beſchwerte Kugel, um das Inſtrument in aufrechter Lage zum Schwimmen zu bringen. Die obere Endfläche des Cylinders iſt nach Innen

gewölbt; über sie fort ist von einem Punkte des Randes zum gegenüberstehenden ein Metallbogen geführt, in dessen Mitte ein Metallstiel mit einer Marke aufgesetzt ist; dieser Stiel trägt eine Schale. Das Instrument ist ganz aus Messing gemacht und gefirnißt, darf also, außer Wasser, in keine andere Flüssigkeit getaucht werden. Es gehört dazu ein Glascylinder, in welchem das Aräometer bequem auf Wasser schwimmen kann.

Beim Gebrauche dieses Aräometers tritt oft ein Schwanken ein, wenn man es nicht genau so belastet hat, daß der Schwerpunkt der Auflage in die Längenachse des Aräometers fällt; dabei können leicht Gewichte ins Wasser fallen; oder man legt zu viel Gewichte auf und das Instrument sinkt zu tief ein, macht die Schale naß, also schwerer; die Schale muß dann wieder abgetrocknet werden, was Zeit kostet. Um diesen Uebelständen zuvorzukommen, schneide man ein Plättchen Messingblech 8—10 mm. breit, bohre in der Mitte ein Loch, nur wenig weiter als der Stiel des Aräometers, und schneide ein Streifchen aus dem Rande dieses Loches heraus, so weit, daß der Stiel mit einiger Reibung hindurchgeschoben werden kann, um ihn nach dem Loch hin zu bringen; die beiden Enden des Messingstreifchens biege man senkrecht gegen seine Ebene in solchem Abstande von der Mitte um, daß die gebogenen Enden sich an die äußere Fläche des Glascylinders anlegen; wenn der Streifen fest auf dem Glase sitzt, so wird er die Schwankungen des Instruments verhindern. Zur Aufbewahrung wird das Aräometer in ein Pappfutteral gesteckt; man wird es also so einrichten, daß die Schale oben keinen größeren Durchmesser hat als der cylindrische Körper des Instruments. Was die Gewichte anlangt, so ist es ganz gleichgültig, was für welche man anwendet, vorausgesetzt, daß sie sich auf dieselbe Einheit beziehen. Wer, wie Mineralogen von Fach, das Instrument auf Excursionen mit sich führen will, um von gefundenen Mineralien das spec. Gewicht sofort zu bestimmen, wird sich als Behältniß ein cylindrisches Gefäß von gefirnißtem oder lackirtem Weißblech machen lassen, woran eine Kapsel für die Gewichte sich befindet; er kann dies Gefäß dann zugleich bei den Versuchen gebrauchen.

Der Gebrauch des Instruments ist leicht. Es ist zweckmäßig, ein für allemal das Gewicht zu bestimmen, welches man auf die Schale legen muß, um das Aräometer im destillirten Wasser bis zur Marke einzutauchen. Um dann das spec. Gew. eines festen Körpers damit zu finden, lege man denselben auf die Schale, dann noch so viele Gewichte zu, bis das Aräometer bis zur Marke eintaucht. Dieses letzte Gewicht, von der vollen Belastung abgezogen, giebt das absolute Gewicht des Körpers. Um nun seinen Gewichtsverlust, d. h. das Gewicht eines ihm gleichen Volumens Wasser zu finden, legt man den Körper unter den Bügel, der über die concave Endfläche des Cylinders gelegt ist; ist der Körper schwerer als Wasser, so bleibt er, auch wenn er unter Wasser kommt, von selbst darauf liegen; ist er leichter als Wasser, so hält ihn der Bügel vom Aufsteigen zurück; man hat also gar nicht nöthig, für

schwerere und leichtere Körper zweierlei Versuche anzustellen, wie es bei den älteren Instrumenten der Fall war. Legt man nun wieder so viel Gewichte auf die obere Schale, bis das Aräometer bis zur Marke eintaucht und berechnet, wie viel dies mehr ist, als wenn der Körper auf der oberen Schale liegt, so giebt der Unterschied den Verlust des Körpers im Wasser, und aus diesem und dem absoluten Gewicht berechnet sich das spec. Gewicht.

Da das Wasser an dem Stiel des Aräometers einen Randwinkel bildet, so beeinträchtigt dies einigermaßen die genaue Gewichtsbestimmung. Da nun das Gewicht des verdrängten Wassers immer dem Gewichte des Aräometers (sammt der Belastung) gleich ist, so wird der dadurch entstehende Fehler um so kleiner sein, je dünner der Stiel ist; man nehme diesen also möglichst dünn, jedoch muß er immer so viel Steifigkeit besitzen, um die aufgelegte Belastung tragen zu können.

Scalenaräometer. (Fig. 88). Von diesen Aräometern muß man eins für leichtere, eins für schwerere Flüssigkeiten als Wasser haben; letztere werden auch wohl noch auf zwei Instrumente vertheilt, eins geht von 1—1,5, das andere von 1,5 bis 2. Um beim Unterrichte eine deutliche Anschauung von der Bedeutung dieser Instrumente zu geben, genügt es, in eine am einen Ende verschlossene Glasröhre, so viel Quecksilber zu gießen, daß sie im Wasser aufrecht schwimmt; taucht sie im Wasser bis an einen Punkt in der oberen Hälfte ein, so wird sie in Schwefelsäure nicht so tief, in Alkohol tiefer eintauchen u. s. w. Durch solchen Versuch wird auch die Berechnung der Theile eines Scalenaräometers deutlich gemacht. (Vgl. mein Lehrb. p. 111.). Die Aräometer von Beaumé, Cartier, Beck sind kaum des Anführens werth, da sie ganz willkührlich getheilt sind. Wenn sie dessenungeachtet noch sehr verbreitet sind, so beweist dies nur zum hundertsten Male, daß das flachste und werthloseste von der Menge dem richtigen und gehaltvollen vorgezogen wird.

Fig. 88.

Um die Scale eines Aräometers, welches die spec. Gewichte angeben soll, zu construiren, ermittle man das Verhältniß des Volumens der Röhre zum Volumen des Gefäßes, verwandle das Volumen des Gefäßes (durch Rechnung) in einen Cylinder von der Dicke der Röhre des Aräometers und ziehe die Gerade AB (Fig. 89 a. f. S.) gleich der Summe der gefundenen Länge und der Länge des Halses, errichte in A die Senkrechte CE von beliebiger Länge, zeichne von A aus auf AC so viel gleiche, sonst beliebige Theile, als die Scale des Aräometers angeben soll, 100, wenn dieselbe Hundertel angeben soll u. s. w., und setze diese Theilung auch noch auf AE fort, so weit die Scale reichen soll. Durch die Punkte a, b, c .... d, e, f .... ziehe man Parallelen mit AB, nämlich am, bn, co .... dp, eq, fr ...., und verbinde Cm, Cn, ...

Cp, Cq ...., welche letztere man so weit verlängert, bis sie die Linie AD in t, u, v, w .... treffen. Die Theile der Linie CE stellen die spec. Gewichte vor, bei C mit 0 anfangend, Cg = 0,96, Cf = 0,97, Ce = 0,98, CD = 0,99, CA = 1,00, Ca = 1,01, Cb = 1,02, Cc = 1,03 u. s. w., und die Theile der Linie ABD stellen die Aräometergrade vor, so daß das Instrument sich in Wasser von A bis B einsenkt, in Flüssigkeiten, die leichter sind als Wasser, von A bis t, u, v, u. s. w., und in Flüssigkeiten, die schwerer sind als Wasser, von A bis x, y, z ꝛc. Da nun $\triangle$ CAx $\sim$ Cam, so ist:

$$CA : Ca = Ax : am = Ax : AB,$$

d. h. wenn s, s, die spec. Gewichte, V das Gesammtvolumen des Aräometers bedeutet,

$$s : s, = Ax : V.$$

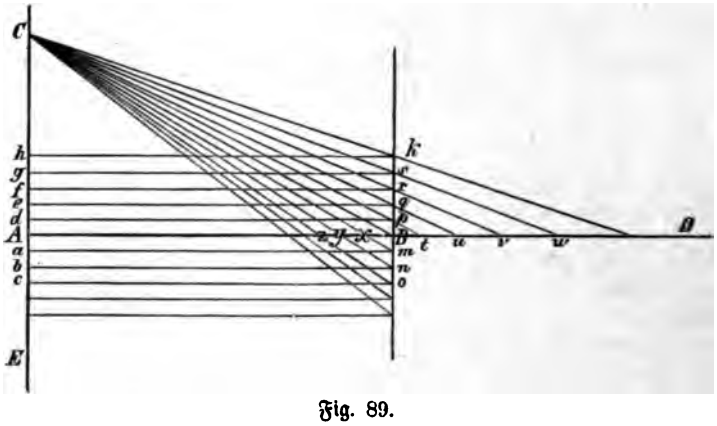


Fig. 89.

Bezeichnet man mit v_1 das beim spec. Gewichte s, der Flüssigkeit untergetauchte Volumen des Aräometers, so ist:

$$Ax = \frac{s}{s,}.V, \text{ also } Ax = v_1.$$

Auf gleiche Weise erhält man, bei entsprechender Bezeichnung,

$$CA : Cb = Ay : bn = Ay : AB, \text{ oder}$$

$$s : s_2 = Ay : V$$

$$\text{also } Ay = v_2.$$

Ebenso ist für leichtere Flüssigkeiten als Wasser:

$$CA : Cd = At : dp = At : AB, \text{ oder}$$

$$s : s', = At : V; \; At = v', \text{ u. s. w.}$$

Die Linien Ax, Ay, Az .... At, Au, Av .... geben also in der That die Volumina der in Flüssigkeiten von den spec. Gewichten s_1, s_2, s_3 ...., s_1', s_2', s_3' ..... untergetauchten Theile des Aräometers, und wenn das Aräometer am Halse überall gleich dick ist und

das Gefäß in eine Röhre von derselben Dicke verwandelt gedacht wird, zugleich die Längen der untergetauchten Theile.

Die Ermittelung des Volumens der Kugel, d. h. des erweiterten Theils des Aräometers, geschieht aber dadurch, daß man ein Gefäß, das oben eine seitliche Ausflußröhre hat, bis an diese mit Wasser füllt, die Kugel genau bis an den Hals eintaucht und das Wasser, das ausfließt, abwägt; jedes Gramm Wasser giebt 1 c. cm. Volumen. Ist dann der Durchmesser des Halses $= 2\,r$ mm., also der Halbmesser r mm., so ist der Durchschnitt $r^2\,\pi$ q. mm.; waren n gr. Wasser ausgeflossen, so giebt die Kugel eine Röhrenlänge $= \frac{1000\,n}{r^2\,\pi}$ mm. Zu dieser Millimeterzahl wird die Länge der Röhre addirt, die Summe giebt die Linie AB der Figur.

II. Versuche über Molecularkräfte fester Körper. Elasticität, Cohäsion und Adhäsion.

1. Elasticität. Absolute Festigkeit.

Um über Zugelasticität Versuche zu machen, wird man ein langes Menschen- oder Pferdehaar am einen Ende festmachen, an das andere eine kleine leichte Schale hängen und die Länge des Haares zwischen dem Aufhängepunkt oben und dem Befestigungspunkt der Schale messen. Nun beschwert man die Schale ganz allmählig, nicht mit Gewichtstücken, sondern mit kleinen Körpern, Sand oder Schrotkörnern; man kann sich auch der zum Tariren geschnittenen Metallstückchen bedienen. Um während des Versuchs stets die Länge des so gestreckten Körpers ablesen zu können, stelle man hinter dem Haar einen Maßstab so auf, daß sein Nullpunkt gerade hinter den Befestigungspunkt fällt. Zuletzt wird die aufgelegte Last gewogen und die ursprüngliche Länge des Haars mit der am Ende des Versuchs verglichen. Will man den Fortgang der Verlängerung mit zunehmendem Gewichte sehen, so muß man mit Gewichtsstücken, nicht mit Tara, belasten, diese z. B. grammenweise zunehmen lassen und für jedes Gewicht die Verlängerung aufschreiben; nachträglich kann man diese stufenweisen Verlängerungen als Bruchtheile der ursprünglichen Länge ausdrücken, um zu erfahren, wie die durch gleiche Gewichtszunahmen successive bewirkten Verlängerungen sich verhalten.

Ganz ähnliche Versuche könnte man mit Coconfäden und dünnen Drähten aus verschiedenen Metallen, so wie mit gewundenen Drahtfedern anstellen. Die Versuche nehmen aber viel Zeit in Anspruch.

Wenn man die Versuche bis zum Reißen der Haare, Drähte oder Federn fortsetzt, so erhält man zugleich die Größe der Festigkeit dieser Körper; ist man dann im Stande, die Durchmesser zu bestimmen, um die Querschnitte daraus zu berechnen, so kann man den Elasticitäts-,

Festigkeits- und Tragmodul ausmitteln, was für den Unterricht von Bedeutung ist, da die blos theoretische Behandlung dieser Materien bei den wenigsten Schülern ein rechtes Interesse erwecken dürfte.

2. Biegelasticität. Relative Festigkeit.

Um über Biegelasticität und relative Festigkeit Versuche anzustellen, muß man eine Vorrichtung haben, wobei ein Draht an beiden Enden festgeklemmt und in der Mitte belastet, oder, bei steifen Drähten, am einen Ende festgeklemmt und am anderen belastet werden kann. Man wird übrigens immer nur Körper von geringer Dicke anwenden können, um mit nicht allzu großen Gewichten auszukommen. Am einfachsten gelangt man zum Ziele durch zwei Schraubstöcke, die an der Seite eines Tisches befestigt werden; bei der ersten Art der Versuche benutzt man beide, bei der anderen nur den einen.

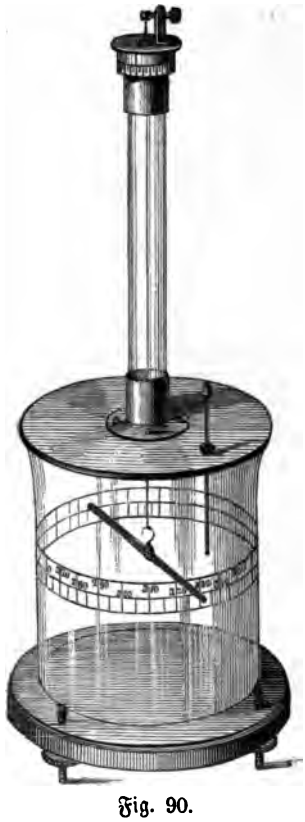


Fig. 90.

3. Drehelasticität.

Ueber Drehelasticität stellt man Versuche am besten mit der Drehwage von Coulomb (Fig. 90.) an. Sie besteht aus einem Glascylinder von 25—30 cm. Höhe und 20 cm. Durchmesser; der Cylinder hat eine Glas- oder Holzplatte zur Decke; diese ist in der Mitte durchbohrt und nimmt eine 40 — 50 cm. lange, 2 cm. weite Glasröhre auf, so daß die geometrische Achse der Röhre mit der des Cylinders zusammenfällt. Etwa in der halben Höhe des Cylinders ist dessen Mantel in einem horizontalen Kreise in 360° getheilt. Das obere Ende der Glasröhre hat eine messingene Fassung, welche etwas weiter als die Röhre und in 4 Mal 90° getheilt ist. Ein auf diese Fassung aufgeschobener, nach Außen aber in dieselbe Cylinderfläche fallender Ring ist auf derselben drehbar und trägt einen Strich als Index zu der Theilung. Durch beide Ringe geht eine Bohrung, etwa 3 mm. weit, und auf dem drehbaren Ring ist eine geränderte Platte von etwas größerem Durchmesser festgelöthet. Beide Ringe sind auf der äußeren Cylinderfläche versilbert und die Theilstriche mit schwarzem Lack eingerieben.

Auf der Oberplatte des zweiten Ringes ist eine kleine Rolle angebracht, auf die sich ein Faden oder Draht aufwickeln kann, wenn man sie bei dem auf ihre Achse gesteckten Kopfe dreht. Der Faden oder Draht ist mit seinem einen Ende an der Rolle befestigt, einige Mal um dieselbe gewunden, dann durch die Bohrung und die Glasröhre nach dem unteren Glascylinder geführt, wo er in der Höhe der am Mantel des Cylinders angebrachten Theilung einen horizontalen Stab trägt; dieser dient einmal dazu, den Faden oder Draht gerade zu strecken, dann auch als Zeiger für die Theilung. Wenn bei Drähten das Gewicht des Zeigers nicht ausreichen sollte, diese gerade zu strecken, so hängt man noch eine kleine Metallkugel an. In die Deckplatte des Cylinders ist ein Loch gebohrt und dieses mit Messing ausgefuttert; es nimmt einen messingenen Zapfen, der einen starken Draht (er soll künftig Hülfsdraht heißen) trägt, welcher noch etwas über die Ebene der Theilung an der Cylinderwand herabreicht. Der Cylinder wird in einen eingedrehten Falz eines Fußbrettes gesetzt, das durch drei Fußschrauben horizontal gestellt werden kann. Hierdurch läßt sich immer bewirken, daß der eingehängte Faden oder Draht genau durch die Centren der oberen und unteren Theilung geht.

Für Elasticitätsversuche ist die Aufhängung an der Rolle nicht immer zweckmäßig, namentlich zu Versuchen mit Drähten. Man läßt dann den Draht durch eine enge Bohrung in einem Zapfen gehen, worin er am oberen Ende fest eingeklemmt wird; der Zapfen muß mit dem Körper, welcher den Index trägt, fest verbunden sein.

Um mit diesem Apparat den Isochronismus ungleich großer Schwingungen eines Drahtes zu beweisen, drehe man die Deckplatte des Cylinders so, daß die Nullpunkte beider Theilungen in dieselbe Verticalebene fallen; der Hülfsdraht steht dann ebenfalls in dieser Ebene. Der Versuchsdraht ist dann ohne alle Drehung: man drehe den oberen Ring mit dem Index und dem Faden (für Drähte dreht sich der Zapfen, woran der Draht befestigt ist), in solcher Richtung, daß der Weiser gegen den verticalen Hülfsdraht anschlägt. Der Versuchsdraht kann sich also unten nicht drehen; da er aber oben gedreht wird, so kommt er in die Lage, in welcher seine Elasticität ihn in die vorige Lage zurückzudrehen bemüht ist. Hebt man nun den Hülfsdraht leise, d. h. ohne an dem Weiser Erschütterungen hervorzurufen, so wird der Versuchsdraht sofort der Kraft der Elasticität folgen, nach welcher der obere getheilte Ring gedreht worden, und da die Kraft immerfort wirkt, so wird diese Drehung mit beschleunigter Geschwindigkeit geschehen; die Geschwindigkeit wird also am größten sein, wenn der Weiser einen ebenso großen Bogen wie der Ring zurückgelegt haben wird. Wegen des Beharrungsvermögens wird der Draht und damit der Weiser nun noch weiter gehen; aber, da jetzt eine elastische Kraft in entgegengesetzter Richtung wirkt, welche in jedem Augenblick Etwas von der gerade stattfindenden Geschwindigkeit vernichtet, so wird die Drehung mit verzögerter Geschwindigkeit vor sich gehen und so lange andauern,

bis die Geschwindigkeit ganz vernichtet ist. Der Draht wird also gerade ebensoweit über den Punkt, bei welchem der obere Ring steht, hinausgehen, als dieser vom Nullpunkte absteht; die Steifheit des Drahtes, d. h. seine unvollkommene Elasticität, und der Widerstand der Luft werden allerdings die Schwingung etwas vermindern, so daß der mit verzögerter Geschwindigkeit zurückgelegte Bogen etwas kleiner werden wird, als der vom Nullpunkte aus bis dahin, wo die Drehung die größte Geschwindigkeit erreicht hat. Der Weiser wird von da, wo seine Geschwindigkeit gleich Null geworden, wegen der wieder wirkenden Kraft der Elasticität, wieder zurückgehen und diese aus den angegebenen Gründen immer kleiner werdenden Schwingungen eine Zeit lang fortsetzen, bis endlich die immer mehr wirkenden Widerstände die ganze Bewegung aufgezehrt haben.

Neben der Drehwage stelle man noch ein Pendel mit hörbaren Schlägen auf, um bei den Versuchen die Zeit, d. h. die Dauer von einer bestimmten Anzahl (n) Schwingungen zu messen. Es ist übrigens hier gar nicht nöthig, daß das Pendel genaue Secunden schlage, nur muß es während der Dauer zusammengehöriger Versuche Schwingungen von gleicher Dauer machen, also seine anfängliche Länge unverändert beibehalten.

Man drehe nun den Ring um 10°, hebe den Hülfsdraht heraus, zähle die Schwingungen bis zu einer festgesetzten Zahl n, z. B. 20, und lasse von einem Anderen die Pendelschläge zählen; selbstverständlich muß das Auslösen des Hülfsdrahtes gleichzeitig mit einem Pendelschlag, der mit „Null" gezählt wird, geschehen. Soll der Versuch Anspruch auf größere Genauigkeit machen können, so muß man die Schwingungen des Weisers durch ein Fernrohr mit verticalem Faden beobachten, der auf die Ruhelage des Weisers gerichtet ist. Wir nehmen an, es seien n Schwingungen in s Secunden gemacht. Man lasse dann den tordirten Draht wieder zur Ruhe kommen, drehe den Ring um eine größere Anzahl Grade als vorher, d. h. gebe dem Draht eine größere Amplitude, etwa 20° oder mehr, und stelle damit den vorigen Versuch wieder an. Der Draht macht jetzt größere Schwingungen, aber bei der stärkeren Drehung ist auch seine Elasticität größer, und der Versuch wird zeigen, daß er wieder n Schwingungen in derselben Secundenzahl s macht. Kleine und große Schwingungen werden also in derselben Zeit zurückgelegt, d. h. sie sind isochron.

Wenn aber kleine und große Schwingungen in gleichen Zeiten gemacht werden, so folgt daraus von selbst, daß die Kraft der Elasticität dem Winkel, um welchen der Draht gedreht wird, dem Torsionswinkel, proportional ist. Dies ist das berühmte Gesetz von Robert Hook, das Coulomb, Wertheim u. A. bestätigt gefunden haben.

Man kann also nun beliebige Kräfte durch den Drehungswinkel elastischer Fäden oder Drähte messen; sie werden immer dem Drehungswinkel proportional sein, den sie an demselben Faden oder Draht hervorbringen.

Ueber die Elasticität stellt man wohl noch folgenden Versuch an. Eine Elfenbeinkugel wird mit einem Häkchen von Messing versehen; an das Häkchen befestigt man einen starken Faden, faßt dann die Kugel mit der Flachzange beim Häkchen und hält sie in den Rauch, der von einem mit Terpentinöl getränkten, angezündeten Span aufsteigt, bis ihre Oberfläche einen Ueberzug von Ruß angenommen hat; dann läßt man sie auf eine glatt geschliffene Steinplatte fallen, indem man das Ende des Fadens so festhält, daß die Kugel ungehindert die Platte erreichen kann, aber auch nicht viel mehr Spielraum hat; in dem Augenblick, da die Kugel im Falle die Platte erreicht hat, zieht man sie am Faden schnell wieder in die Höhe, so daß sie keine Zeit hat, auf der Platte zu rollen. Man wird dann sehen, daß der Ruß an der Berührungsstelle in einem kreisförmigen Fleck von der Kugel entfernt ist. Die Kugel war also an dieser Stelle eben gedrückt, hat aber vermöge ihrer Elasticität wieder Kugelform angenommen.

Beispiele fehlender Elasticität liefern die holländischen Glasthränen und die bologneser Fläschchen; das Glas ist nämlich bei ersteren im Wasser, bei letzteren in der Luft abgekühlt, daher spröde. Bricht man bei jenen die Spitze ab, so zerfallen sie zu Staub, und schüttelt man in letzteren ein Splitterchen Feuerstein, so zerbrechen sie; Hammerschläge halten beide bis zu einem gewissen Grade aus.

4. Adhäsion.

Die Adhäsion fester Körper wird vermittelst eben geschliffener Platten von Glas und Metallen gezeigt. Man bringt sie entweder trocken zusammen oder behaucht sie, oder zerreibt einen Tropfen Wasser oder Oel zwischen ihnen. Bei den Versuchen wird die eine Platte an eine der Schrauben der Halterstange gehängt, die andere von Unten daran angelegt und mit Gewichten beschwert. Es ist zweckmäßig, an die untere Platte eine Schale zu hängen und diese allmählig mit Gewichten zu beschweren, indem man erst nur ganz wenig auflegt und das Aufgelegte durch kleine Zugaben nach und nach vermehrt. Das Gewicht der unteren Platte und das der Schale müssen zu den aufgelegten Gewichten hinzugerechnet werden, wenn man die Adhäsion der dem Versuch unterworfenen Platten kennen will. Hat man das Gewicht bestimmt, bei welchem die Platte abreißt, so mißt man den Durchmesser der Platten, berechnet daraus die Größe der sich berührenden Flächen und dividirt die gefundene Belastung durch die Zahl der Flächeneinheiten der Platte, um so die specifische Adhäsion des Stoffs zu erhalten.

Gewöhnlich gleiten die Platten seitwärts ab, ehe sie sich wegen der Größe des angehängten Gewichts trennen würden. Um dies zu verhindern, sollte man an die obere Platte an drei um 120° von einander abstehenden Stellen kleine, über die adhärirende Fläche vorstehende Plättchen anlöthen, bei Glas ankitten. Die Versuche würden dann

viel besser gelingen. Oder man hänge die obere Platte an drei Punkten auf, so daß sie sich nach keiner Seite neigen kann, so wird dem erwähnten Uebelstande auch abgeholfen.

III. Gleichgewicht der Kräfte bei festen Körpern.

1. Kräftenparallelogramm.

Zur Veranschaulichung dieses Gesetzes sind schon verschiedene Apparate angegeben; aber die Reibungswiderstände stören in der Regel das reine Hervortreten des Gesetzes; folgende Vorrichtung dürfte den Anforderungen besser entsprechen als alle bisher beschriebenen. Als

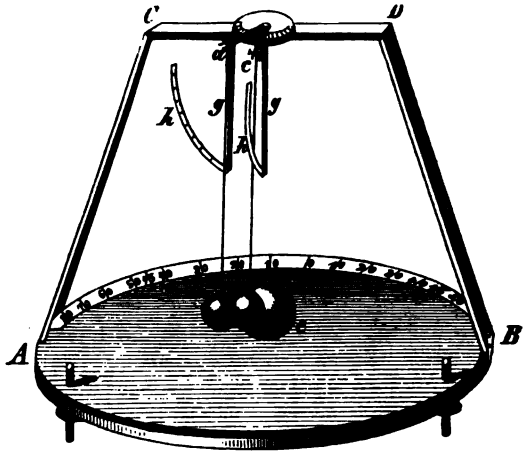


Fig. 91.

bewegende Kräfte dienen zwei Pendel ab, cd (Fig. 91), der bewegte Körper ist eine Elfenbeinkugel von 4 cm. Durchmesser. Ein kreisförmiges Brett AB von 50—60 cm. Durchmesser wird so zusammengefügt und verleimt, daß es sich nicht werfen kann, etwa in der Weise der Meßtischblätter. Am Rande werden drei Fußschrauben im Winkelabstande von 120° von einander angebracht; durch diese kann das Brett mittelst einer Libelle genau horizontal gestellt werden. Die eine Hälfte des Randes wird in 180° getheilt; die Grade werden aber vom mittleren Theilpunkt aus nach beiden Seiten hin von 0 bis 90° numerirt. An den Endpunkten des getheilten halben Kreisbogens erheben sich zwei Stäbe AC, BD von 5 cm. Breite, $1\frac{1}{2}$ bis 2 cm. Dicke und 50 cm. Länge über die Ebene des Fußbrettes; nach Oben verjüngen sie sich zu 4 cm. Breite und sind so gegen einander geneigt, daß ihre oberen Enden noch 30 cm. von einander abstehen. Die unteren Enden dieser Stäbe sind an das Fußbrett an-

geschraubt, die oberen werden durch einen 4 cm breiten Querstab verbunden, der in der Mitte seiner Länge eine kreisförmige Messingplatte von 4 cm. Durchmesser aufnimmt, so daß der Mittelpunkt dieses Kreises genau in der durch den Mittelpunkt des Fußbrettes geführten Verticalen liegt. Diese Platte wird an der unteren Fläche im Centrum durch einen cylindrischen Messingkörper von 3 cm. Durchmesser und 1 cm. Höhe verstärkt; dieser Körper ist an die Platte angelöthet und wird beim Auflegen in die Holzplatte versenkt. Der der unteren Kreistheilung entgegengesetzte Halbkreis der Messingplatte ist ebenso, wie der untere Halbkreis, in zweimal 90° getheilt, in der Mitte mit 0 anfangend und zu beiden Seiten bis 90° fortgehend. Dieser obere Theil ist in (Fig. 92) nach größerem Maßstabe dargestellt.

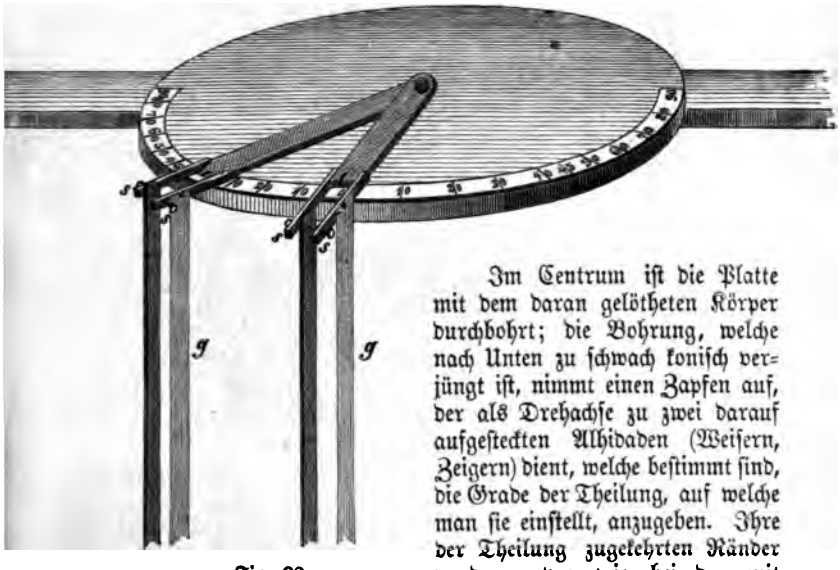


Fig. 92.

Im Centrum ist die Platte mit dem daran gelötheten Körper durchbohrt; die Bohrung, welche nach Unten zu schwach konisch verjüngt ist, nimmt einen Zapfen auf, der als Drehachse zu zwei darauf aufgesteckten Alhidaden (Weisern, Zeigern) dient, welche bestimmt sind, die Grade der Theilung, auf welche man sie einstellt, anzugeben. Ihre der Theilung zugekehrten Ränder werden, etwa wie bei den mit Nonien versehenen Alhidaden, am Rande zugeschärft und tragen in der Mitte einen Strich als Index. Der scharfe Rand dieser Alhidaden läuft bei der Drehung gerade an den Theilstrichen vorbei, so daß der Index den bestimmten Grad, der in Frage steht, fixirt. Es ist klar, daß auf dem Centralzapfen die eine Alhidade über der anderen sitzt; ihr zugeschärftes Ende mit dem Index muß aber doch wieder auf der getheilten Kreisebene aufliegen; die obere Alhidade muß daher gekröpft sein, um vorn mit der Platte in Berührung zu kommen.

Jede Alhidade trägt in ihrer Verlängerung über die getheilte Platte hinaus eine gabelförmige Fortsetzung, d. h. zwei parallele Stäbchen

die 4—5 mm. von einander abstehen. Diese Stäbchen sind durchbohrt und nehmen je eine Stahlschraube s,s auf, welche sämmtlich an den nach Innen gekehrten Enden konisch zugespitzt und gehärtet sind. Diese Spitzen sollen die Pendel tragen. Ein 3 mm. dicker Stahldraht ab,cd ist gegen das eine Ende hin mit einander gegenüberstehenden konisch gebohrten Vertiefungen versehen und an dieser Stelle gehärtet. Diese konischen Bohrungen nehmen die Spitzen der Schrauben auf; bei gehöriger Regulirung der Schrauben gestatten sie den Stahlstäben, d. h. den Pendeln, sich ohne große Reibung um die Stahlspitzen hin- und herzubewegen, d. h. pendelartig zu schwingen. Die Stäbe erhalten eine solche Länge, daß sie fast auf die hölzerne Fußplatte reichen; unten wird an jedem Stab eine Schraube angeschnitten, auf welche eine messingene Kugel b,d von etwa 2 cm. Durchmesser aufgesetzt wird. Auf das Centrum der kreisförmigen Bodenplatte wird eine Elfenbeinkugel von 4—5 cm. Durchmesser gelegt; die Messingkugeln werden so an die Stahlstäbe geschraubt, daß sie, wenn die Pendel ruhen, die Elfenbeinkugel gerade in der Mitte der Höhe berühren, nämlich in dem größten Kugelkreis, welcher der Horizontalebene parallel ist. Damit bei der verticalen Stellung der Pendel solche Berührung genau eintritt, muß man entweder die Durchmesser der Kugeln oder die Länge der Alhidaden, d. h. den Abstand der Drehaxen der Pendel mit Rücksicht auf diese Forderung einrichten.

An die beiden Alhidaden wird nach Außen hin, und zwar an die über die getheilte Platte vorstehenden Gabeln je ein verticaler Messingstab g,g angeschraubt, etwa von der halben Länge der Pendeldrähte; an die unteren Enden befestigt man Kreisbogen, h,h welche mit der Schwingungsebene der Pendel parallel sind und deren Centrum in der Drehungsaxe des zugehörigen Pendels liegt. Diese Bogen nehmen eine Theilung auf, deren Nullpunkt im Befestigungspunkt der Bogen liegt.

Durch den Stoß der bis zu gewissen Höhen (Elongationswinkeln) erhobenen Pendel auf die Elfenbeinkugel sollen die Kräfte hervorgebracht werden, welche diese Kugel nach verschiedenen Richtungen treiben. Die Geschwindigkeiten, welche zwei Pendel von gleicher Länge annehmen, wenn sie um die Winkel α und β gehoben werden und wieder in die Verticale zurückgefallen sind, verhalten sich wie die den Centriwinkeln α,β entsprechenden Sehnen, und diese wie die Sinus der halben Winkel, wie $\sin\frac{\alpha}{2} : \sin\frac{\beta}{2}$. Wären m, m' die Massen der Pendelkugeln, so würden ihre Bewegungsgrößen, wenn sie auf die Elfenbeinkugel treffen, sich wie $m.\sin\frac{\alpha}{2} : m.'\sin\frac{\beta}{2}$ verhalten. Nun nehmen wir beide Kugeln von gleichem Durchmesser, also, da sie aus demselben Metall bestehen, von gleicher Masse; die Bewegungsgrößen verhalten sich also dann wie die Sinus der halben Elongationswinkel. Die Elfenbein-

tugel wird demnach gleichzeitig durch Kräfte bewegt, die sich wie die Sinus der halben Elongationswinkel der Pendel verhalten. Um einfache Verhältnisse der Seitenkräfte zu erhalten, suche man Winkel $\alpha, \beta, \gamma \ldots$ so, daß

$$\sin\frac{\alpha}{2} : \sin\frac{\beta}{2} : \sin\frac{\gamma}{2} : \ldots\ldots = 1 : 2 : 3 : \ldots$$

Wenn man sich auf die beiden ersten Decimalen der Sinuswerthe beschränkt, was hier vollkommen ausreicht, so liefert folgendes Täfelchen solche Werthe, wie sie hier verlangt werden; setzt man den Sinus der Hälfte des ersten Winkels der Einheit gleich, so erhalten die Sinus der Hälften der folgenden Winkel der Reihe nach die Werthe 2, 3, 4, 5 ..... Die folgende Tafel ist weiter geführt, als es für den vorliegenden Zweck nöthig ist; man wird sie kaum über 41° hinaus zu gebrauchen Veranlassung haben.

Winkel α		$\sin\frac{\alpha}{2}$	Verhältniß der Sinus der halben Elongationswinkel.	Winkel α		$\sin\frac{\alpha}{2}$	Verhältniß der Sinus der halben Elongationswinkel.
5°	44′	0,05	1	47°	10′	0,40	8
11	30	0,10	2	53	30	0,45	9
17	16	0,15	3	60	—	0,50	10
23	6	0,20	4	66	46	0,55	11
28	58	0,25	5	73	46	0,60	12
34	56	0,30	6				
41	—	0,35	7				

Es wird nun für die Versuche viel vortheilhafter sein, statt einer eigentlichen Gradtheilung, nur diese Bogen 5° 44′, 11° 30′ u. s. w. aufzutragen, sie durch deutliche Striche zu bezeichnen und bei diesen Theilstrichen nicht Grade und Minuten, sondern blos die Verhältnißzahlen 1, 2, 3 u. s. w. beizusetzen. Der Verfertiger muß freilich die genauen Winkel, wie sie oben verzeichnet sind, innehalten, also jedenfalls von der Kreistheilmaschine copiren, braucht aber die zwischenliegenden Striche nicht zu machen, sondern eben nur die im Täfelchen verzeichneten. Ueber die oben aufgeführten Winkel hinauszugehen ist nicht anzurathen, denn der Isochronismus der Pendelschwingungen findet bekanntlich nur annähernd statt, wenn die Elongationswinkel sehr verschieden sind; wenn auch die Abweichung nicht groß ist, so könnte doch bei sehr abweichenden Winkeln der Versuch weniger genau werden.

Die Versuche mit diesem Instrumment sind sehr einfach. Man stellt das Instrument so vor sich hin, daß die Theilung der Messing-

scheibe oben herwärts, die der Fußplatte abwärts gerichtet ist, bringt diese mittelst einer Libelle und mit Hülfe der Fußschrauben in vollkommen horizontale Lage, setzt die Elfenbeinkugel ins Centrum, richtet die Alhidaden auf irgend zwei Punkte der oberen Theilung, wie man den Winkel für diesen Versuch gerade wählen mag, und liest die Gradzahlen genau ab. Begreiflich bietet das Instrument die Möglichkeit, die bewegenden Kräfte unter Winkeln von nur wenigen Graden bis zu nahe an 180° wirken zu lassen. Für sehr kleine Winkel setzt die Breite der Alhidaden ein Hinderniß in den Weg; da indeß noch ein so großer Spielraum für diese Winkel vorhanden ist, so wird diese Beschränkung keinen Nachtheil bringen.

Nachdem die Alhidaden festgestellt worden, was durch eine auf den Centralzapfen aufgeschraubte und nun fest anzuziehende Mutter geschieht, bezeichnet man mit weicher, zu einer Spitze zugeschärfter Kreide die Richtungen auf der getheilten Hälfte der Fußplatte, deutet diese Richtungen allenfalls auch noch durch punktirte vom Mittelpunkte aus nach denselben Randpunkten nach einem Lineal gezogene Linien an. Nun hat man festzusetzen, in welchem Verhältniß die bei dem Versuche wirkenden Kräfte stehen sollen, und danach die Größe der Elongationswinkel zu bestimmen. Aus dem oben angeführten Grunde wird man Verhältnisse wählen, die nicht zu sehr verschiedenen Winkeln führen, etwa 1 : 2, 1 : 3, 2 : 3, 3 : 4, 4 : 5, 5 : 6, 5 : 7 u. s. w. Dieses Verhältniß markirt man, vom Centrum ausgehend, auf den Kreidelinien, indem man eine beliebige Längeneinheit zu Grunde legt und die bezüglichen Längen mit dem Zirkel aufträgt; aus den so bestimmten Richtungen und Größen der Seitenkräfte construirt man das Parallelogramm mit Kreide auf die Grundtafel, legt ein Lineal an die Diagonale und bezeichnet am Rande den Punkt, wo sie die Kreistheilung trifft. Die Diagonale mit Kreide auf der Tafel auszuziehen ist nicht statthaft, weil die Kreidetheilchen die Bewegung der Kugel beeinflussen möchten. Bei gleichen Kräften braucht man natürlich den Bogen nur zu halbiren; auch leuchtet ein, daß man gleiche Kräfte auf verschiedene Weise erlangen kann, allemal nämlich, wenn man gleiche, sonst beliebig große Elongationswinkel wählt.

Nun hebe man die beiden Pendel bis zu den Höhen, welche die getroffene Wahl des Kräfteverhältnisses erfordert und welche auf den Messingbogen abgelesen werden können; dann lasse man beide Pendel vollkommen gleichzeitig fallen. Geschieht dies in aller Schärfe, so werden sie auch die Elfenbeinkugel in demselben Momente treffen; die Kugel wird sich in der Diagonale des vorgezeichneten Parallelogramms bewegen und so das Gesetz bestätigen.

Die einzige Schwierigkeit welche der Versuch bietet, ist das gleichzeitige Fallenlassen der beiden Pendel. Indessen, bei einiger Uebung erreicht man darin die nöthige Sicherheit und der Versuch wird dann jedesmal vollkommen gelingen.

2. Hebel.

Zur Darstellung der Hebelgesetze bediene ich mich folgenden, in (Fig. 93 und 94) gezeichneten Apparates. Eine gerade, messingene Stange AB, die überall gleiche Breite und Dicke hat, wird in der Mitte

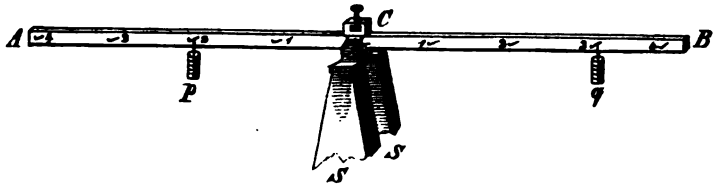


Fig. 93.

C ihrer Länge und Dicke durchbohrt und mit einer stählernen Achse versehen; auf zwei im Fußbrett senkrecht errichteten Ständern S,S sind Lager aus hartem Stahl angebracht, auf denen die Achse der Hebelstange aufzuliegen kommt. An der Seitenfläche der Stange sind in

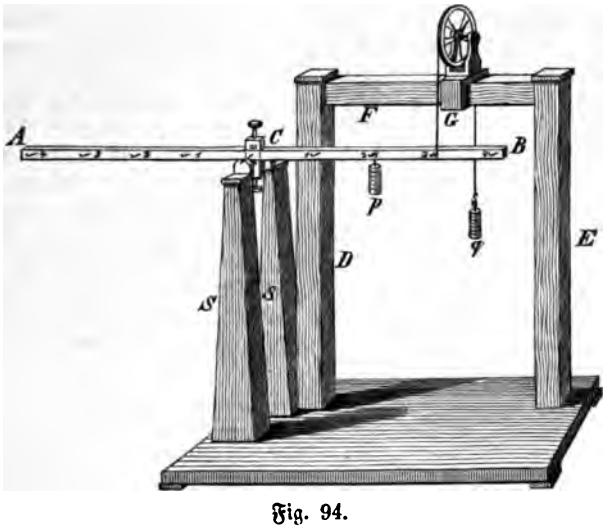


Fig. 94.

den Entfernungen 1, 2, 3, 4 vom Drehpunkte Stifte mit kleinen Köpfen befestigt, an die man Gewichte p,q anhängen kann. Die dazu bestimmten Messinggewichte sind cylindrisch, nach Oben mit einem Stift und Ring versehen, und repräsentiren die Gewichtseinheiten 1, 2, 3, 4, ... welche dadurch sichtbar gemacht sind, daß die Mäntel der Cylinder durch eingedrehte und geschwärzte Ringe die Höhe in ebenso

viele Theile theilen; außerdem ist jedem Gewichte die Zahl seiner Gewichtseinheiten aufgestempelt; ebenso sind die Abtheilungen der Hebelstange numerirt.

So weit stellt der Apparat den zweiarmigen Hebel vor, und zwar den gleicharmigen, wie den ungleicharmigen; für den ersteren hat man vom Mittelpunkt aus gleiche Gewichte in gleichen Entfernungen anzuhängen, für den ungleicharmigen dagegen in ungleichen Abständen von der Mitte Gewichte, die sich umgekehrt wie diese Abstände verhalten.

In (Fig. 94) ist diejenige Abänderung dieses Apparates vorgestellt, welche dazu dient, den einarmigen Hebel zu veranschaulichen. Zu dem Zwecke sind auf der Fußplatte noch zwei senkrechte Ständer D,E angebracht, welche durch das horizontale Querstück F verbunden sind; F liegt parallel mit der Hebelstange AB und trägt auf der darauf verschiebbaren Hülse G eine Rolle mit Schnurlauf; die Achse dieser Rolle ist mit der Hebelstange AB parallel, die Ebene der Rolle also auf

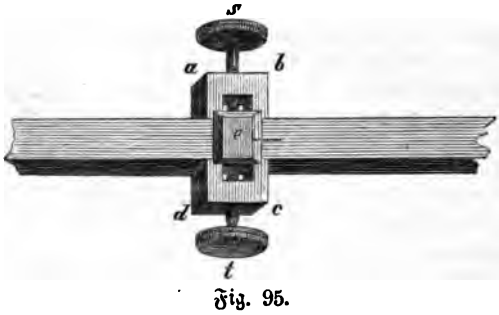


Fig. 95.

AB senkrecht. Die Hülse G mit der Rolle wird so auf dem Querstück F verschoben, daß die über die Rolle gelegte Schnur in senkrechter Lage gerade auf einen der Stifte an der Hebelstange festgehakt werden kann. An das andere, hinter dem Ständer herunter hängende Ende der Schnur wird ein Gewicht q gehängt, das den diesseitigen Hebelarm in die Höhe zieht; um Gleichgewicht herzustellen wird man daher an einen anderen Stift auf derselben Seite der Drehachse C der Hebelstange ein Gewicht p anhängen müssen, welches den Hebelarm B herunterzieht, und zwar so, daß die Abstände vom Drehpunkte C sich wieder umgekehrt wie die Gewichte verhalten. Bei dieser Anwendung der Hebelstange dient der Arm AC blos dazu, den anderen Arm BC im Gleichgewicht zu halten, so daß die Gewichte der Hebelarme den Erfolg gar nicht beeinflussen.

Bei einer noch etwas abgeänderten Einrichtung der Achse der Hebelstange, die eigentlich schon in den Fig. 93 und 94 gezeichnet ist, kann die Stange AB auch dazu dienen, die verschiedenen Arten des Gleichgewichts, nämlich das indifferente, stabile und labile Gleichgewicht darzustellen. (Fig. 95) zeigt dies deutlicher. Die stählerne Achse geht

hier nicht durch den Körper der Stange hindurch; die Stange erweitert sich in der Mitte zu einem durchbrochenen vierseitigen, rechteckigen Prisma **abcd**, das durch Löthung oder Guß mit der Stange zu einem Körper verbunden ist. In dem hohlen Raum ist ein Messingkörper, der eben so breit, aber weniger hoch als der innere Raum des Prismas ist, so daß er sich nach der Höhe darin verschieben läßt. Durch die Mitte dieses Körpers (des Schiebers) ist die Drehachse geführt; auf der einen Seite ist an diesen Schieber ein seitwärts über die Breite der Höhlung übergreifendes Plättchen angegossen (oder angelöthet), so daß hier ein Anschlag an die äußere Fläche des Prismas entsteht; auf der anderen wird ein solches Plättchen e über die Achse geschoben und an den Schieber mit zwei Schräubchen befestigt. Um den Schieber von Oben nach Unten und umgekehrt bewegen zu können, ist durch die obere Seite des durchbrochenen Prismas, und eben so durch die untere je eine Schraube s,t mit breitem Kopf geführt. Will man den Schieber in die Höhe rücken, so zieht man die obere Schraube zurück und schraubt die untere nach; will man ihn nach Unten bringen, so verfährt man umgekehrt; um ihn an dem verlangten Orte festzustellen, wird jedesmal die zweite Schraube herangerückt, bis der Schieber auf beiden Seiten gegen die Schrauben anliegt. Von den beiden vorliegenden Plättchen hat das eine trennbare, e, rechts und links zugeschärfte Ränder; auf der Mitte des einen Randes ist ein mit der Längenachse der Hebelstange paralleler Strich gerissen, auf der Mitte der Stange selbst eben solcher Strich, so gelegen, daß, wenn er mit dem anderen in eine Linie fällt, die Drehachse des Hebels durch den Schwerpunkt der Stange geht. Ist diese Lage hergestellt, so hat man indifferentes Gleichgewicht, die Stange bleibt in jeder Lage in Ruhe. Wenn man den Schieber etwas höher schraubt, so daß der Strich auf dem Plättchen höher liegt als der auf der Stange, so ist die Achse, also die Unterstützung, über dem Schwerpunkte, man hat stabiles Gleichgewicht. Wird der Schieber tiefer gerückt, so daß der Strich auf dem Plättchen unter dem auf der Stange liegt, so hat man labiles Gleichgewicht. Bei den Versuchen über das Hebelgesetz wird man der Stange indifferentes Gleichgewicht geben, zur Veranschaulichung der Construction der Wage stabiles; wenn man zeigen will, daß die Stange umschlägt, wenn ihr Schwerpunkt höher liegt als die Unterstützung, so erhält sie labiles Gleichgewicht.

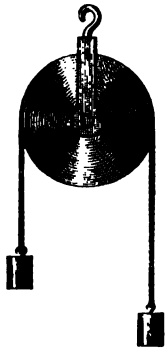


Fig. 96.

3. Rollen und Flaschenzüge.

Die feste Rolle ist in (Fig. 96) mit parallelen Seilen dargestellt. Die Rolle wird in eine Gabel gefaßt, welche einen Haken trägt, an dem man sie an einem geeigneten Stativ, am besten an der

Halterstange aufhängen kann. Hängt man an beide Enden gleiche Gewichte an, so muß Gleichgewicht vorhanden sein. Um die Gleichheit der Last und Kraft auch bei nicht parallelen Seilen darzuthun, müßte man zwei feste Rollen verbinden, d. h. das Seil von der einen zur anderen gehen lassen; es würde dann aber für zwei Rollen ein doppelter Reibungswiderstand eintreten, also der Versuch weniger genau werden; die Reibung bewirkt schon bei einer Rolle, daß das eine Gewicht etwas (um den Betrag der Reibung) größer sein kann als das andere, ohne das Gleichgewicht zu stören.

Bei der lose n Rolle (Fig. 97) R ist die Gabel nach Unten gekehrt und wird mit der Last beschwert; das Seil geht unter der Rolle durch, wird am einen Ende an einem festen Ständer oder Halter befestigt, während das andere über eine feste Rolle r geführt wird, die wieder einen festen Punkt zum Anhängen erfordert. Wenn man nun an dem über die feste Stelle r gezogenen Seil ein Gewicht anhängt, halb so groß als die Last an der losen Rolle, so tritt Gleichgewicht ein; allein wegen der Reibung könnte das Gewicht auch etwas größer oder kleiner sein, es wäre doch Gleichgewicht.

Flaschenzüge. (Fig. 98) stellt den gewöhnlichen Flaschenzug mit drei beweglichen Rollen vor, der also die zum Gleichgewicht erforderliche Kraft auf $^1/_6$ der Last reducirt; (Fig. 99) ist derselbe, nur daß die Rollen jeder Flasche neben einander liegen; (Fig. 100) ist der Potenzflaschenzug mit drei losen Rollen, wo also die Kraft $^1/_8$ der Last ist.

Rad an der Welle. (Fig. 101) ist eine Welle, auf die sich ein Seil, welches die Last trägt, aufwickelt; die Kraft, die einen größeren Hebelarm haben muß, kann auf sehr verschiedene Weise angebracht werden, und daraus entstehen dann die verschiedenen mechanischen Vorrichtungen, die unter eben so viel Namen bekannt sind, als: Wellrad, Haspel, Winde, Göpel, Seilrad, Kreuzhaspel, Hornrad, Spillrad, Hornhaspel, Laufrad, Tretscheibe, die hier indeß nicht weiter berücksichtigt werden können. Zum Versuch eignet sich das einfache Wellrad, wo die Kraft ebenfalls ein an einem Seil wirkendes Gewicht ist. Wird der Apparat sorgfältig aus Metall gearbeitet, so trifft der Versuch sehr gut zu, die zum Gleichgewicht nöthige Kraft wird derselbe Theil der Last sein, wie der Halbmesser der Welle vom Halbmesser des Rades.

4. Die schiefe Ebene.

Ein geeigneter Apparat, die Gesetze des Gleichgewichts auf der schiefen Ebene bestätigt zu sehen, besteht aus einer auf drei Fußschrauben ruhenden Platte ABCD (Fig. 102) von 52 cm. Länge, 11 cm. Breite. Mit dieser ist eine andere Platte EF durch das Charnier E verbunden; diese letztere läßt sich unter beliebigem Neigungswinkel gegen die obere stellen; an dem Gradbogen GH kann der Winkel in Graden abgelesen, auch kann die Platte an diesem Bogen durch die Druckschraube a fest-

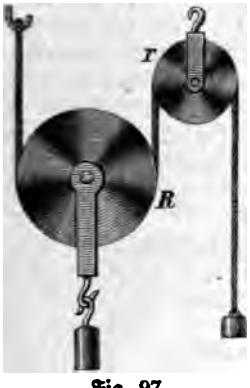


Fig. 97.

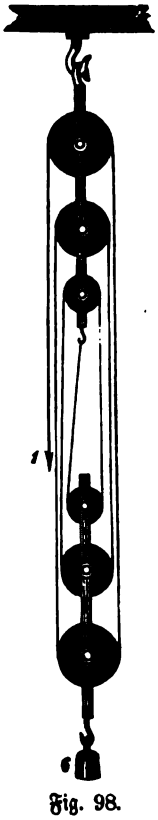


Fig. 98.

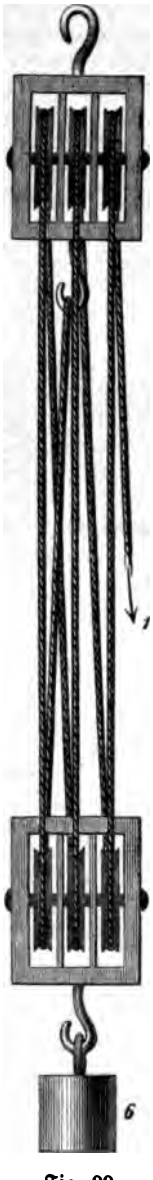


Fig. 99.

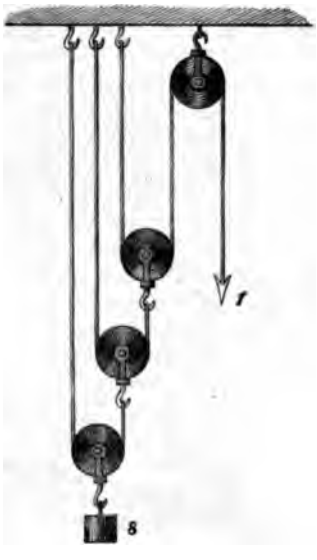


Fig. 100.

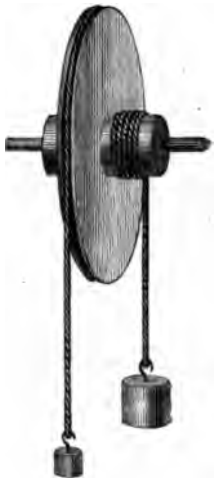


Fig. 101.

gehalten werden. Der messingene Bogen GH ist an die Seite der unteren Platte befestigt und geht durch einen an die obere Platte geschraubten Schlitz von Messing, wo eben die Befestigung stattfindet. Der Bogen hat diejenige Krümmung, welche einem Radius entspricht, der dem Abstande des Bogens vom Gelenk E der Platte gleichkommt. Um beim Andrücken der Schraube die Theilung des Bogens nicht zu beschädigen, ist der Schraube a ein Plättchen vorgelegt. Die obere Platte trägt an der freien Seite bei F eine leicht bewegliche Rolle R von Messing, über die eine dünne Schnur gelegt wird, deren eines Ende an den auf der schiefen Ebene befindlichen Körper K befestigt wird, während man an das andere, über die Rolle nach Außen hin-

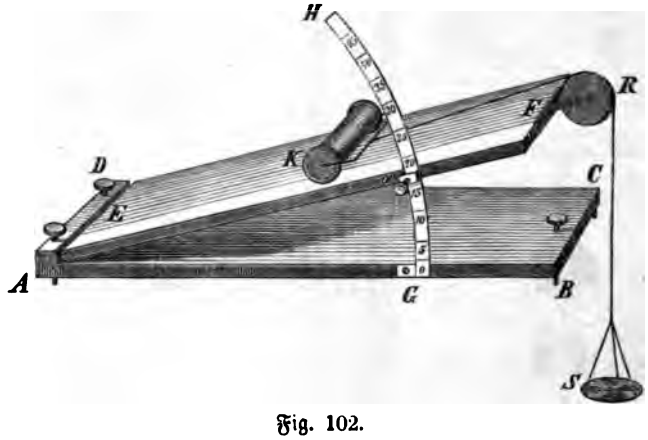


Fig. 102.

gehende Ende eine Schale S hängt, welche die Gewichte aufnimmt, die zur Herstellung des Gleichgewichts nöthig sind. Die Schale wird abgewogen, und mit zu den aufgelegten Gewichten gerechnet. Als Körper, an dem der Versuch auf der schiefen Ebene zu machen, wählt man, um die Reibung möglichst gering zu machen, einen rollenden, also eine Walze K; damit diese aber nicht mit der ganzen Fläche aufliege, giebt man ihr an beiden Endflächen Wülste, mit welchen allein sie die schiefe Ebene berührt. Eine Gabel, an die die Schnur befestigt ist, umfaßt sie, so daß die feste Achse der Walze sich in den in der Gabel befindlichen Lagern dreht.

Man lege den Körper K auf den unteren Theil der Ebene und die Schnur über die Rolle, lege dann so viel Gewichte in die Schale S, bis der Körper anfängt, die schiefe Ebene hinauf zu steigen; man lese die Gewichte ab und rechne das Gewicht der Schale hinzu, so hat man dasjenige Gewicht, welches bei der Neigung, die man der Ebene gegeben hat, nöthig ist, um den Körper auf derselben im Gleichgewicht zu erhalten. Kennt man dann das Gewicht des Körpers K und den

Neigungswinkel der Ebene, so kann man die zum Gleichgewicht erforderliche Kraft nach dem Sinusgesetz berechnen und mit der durch den Versuch gefundenen vergleichen. Mißt man die Länge der schiefen Ebene und ihre Höhe, so kann man die Kraft auch daraus berechnen, was besonders dann vorzuziehen ist, wenn die Schüler die trigonometrischen Functionen noch nicht kennen sollten.

Um in diesem Falle des Messens überhoben zu sein, würde eine schiefe Ebene, wie (Fig. 103) sie im Durchschnitt darstellt, zweckmäßig sein. Das Fußbrett AB ist am Rande getheilt, etwa in Centimeter, ebenso die Länge der schiefen Ebene CD; endlich ist am Rande des Fußbrettes ein verticaler Stab EF befestigt, der von Unten nach Oben ebenfalls getheilt ist. In diesem Stabe werden neben der Theilung

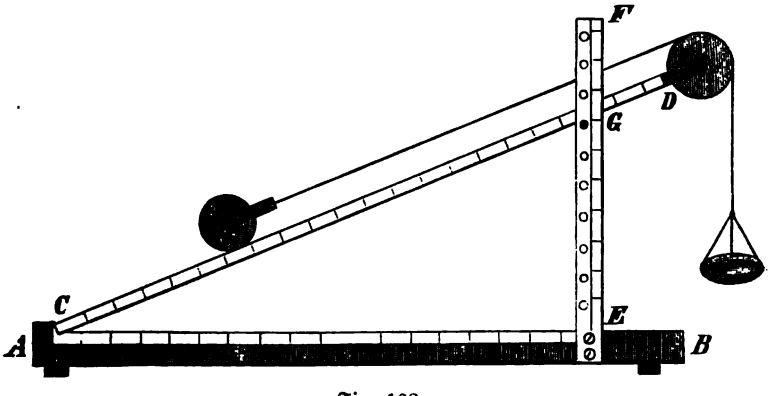


Fig. 103.

Löcher angebracht, durch die sich ein Stift hindurchstecken läßt, auf welchem die Ebene zu ruhen kommt. Es ist zweckmäßig, die Löcher dicht unter den Theilstrichen zu bohren, damit die Höhe in ganzen Längeneinheiten abgelesen werden kann. Ist dann der Stab EF selbst bei einem Theilstrich der Basis angebracht, so kann man höchstens bei der Länge CG auf Bruchtheile stoßen.

Im Vorigen ist der gewöhnlichste Fall, wo die Kraft der Ebene parallel wirkt, berücksichtigt. Wollte man auch mit Kräften, die horizontal wirken, Versuche anstellen, so müßte man der Ebene noch eine etwas andere Einrichtung geben, etwa wie (Fig. 104 a. f. S.) sie vorstellt. Am Ende des Fußbrettes ist ein mit einem Schlitz versehener Stab HK so angebracht, daß er bald höher, bald tiefer befestigt werden kann; der Schlitz nimmt eine Rolle R auf, und die angewendete Kraft wirkt horizontal, wenn die Rolle R mit dem Körper auf der Ebene in gleicher Höhe steht. Die Befestigung geschieht in der Weise, daß man über die zwei Schenkel des geschlitzten Stabes zwei Querstöcke a, b schraubt und stark anpreßt, wobei die Schrauben durch den Schlitz gehen, ohne

den Stab zu treffen, wie die Nebenfigur zu 104 zeigt. Es ist klar, daß die Platte CD, um die nach der Rolle führende Schnur durchzulassen, ebenfalls in der Mitte einen Schlitz haben muß. Ist der

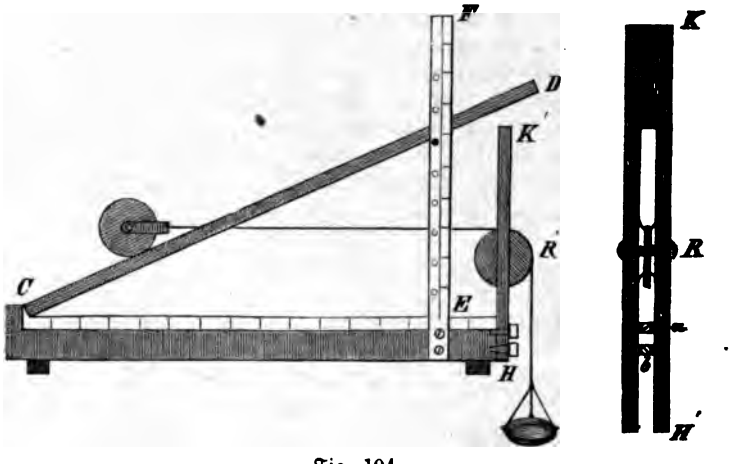


Fig. 104.

senkrechte Stab EF an demselben Apparate angebracht und die Basis getheilt, so kann man leicht das Tangentengesetz bestätigt finden, oder zeigen, daß die Kraft derselbe Theil von der Last ist, wie die Höhe der schiefen Ebene von der Basis.

5. Die Schraube.

Es ist weiter oben von der Anfertigung und Behandlung der Schrauben die Rede gewesen; wir müssen sie hier als einfache Maschine behandeln, daher von den Arten und ihrer Verwendung sprechen. Man kann die Entstehung der Schraubenlinie dadurch zeigen, daß man sich einen Cylinder von hartem Holze anfertigt und aus Papier ein rechtwinkliges Dreieck schneidet, dessen eine Kathete gleich dem Umfange des Cylinders, die andere gleich der Höhe, welche jeder Schraubengang bekommen soll, und dieses Dreieck so um den Cylinder wickelt, daß die erstgenannte Kathete mit der Peripherie der einen Grundfläche des Cylinders zusammenfällt (Fig. 105); ist die Spitze a des Dreiecks abc an d gelegt gedacht, so legt sich die halbe Hypotenuse in der Linie de

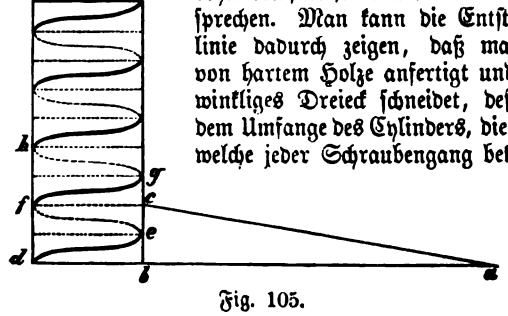


Fig. 105.

um die Hälfte des Cylinders, die andere halbe Hypotenuse in der Linie ef um die andere Hälfte. Legt man von f an ein zweites eben solches Dreieck um den Cylinder, so entsteht ebenso die Linie fgh; fährt man so fort, so bekommt man die ganze um den Cylinder gelegte Schraubenlinie; def ist ein Schraubengang, fgh ein zweiter u. s. w.

Da die Kraft zur Ueberwindung eines Widerstandes mittelst der Schraube in der Tangente eines zur Spindelachse senkrechten Kreises wirkt, so beruht die Wirkung der Schrauben auf dem zweiten Gesetz der schiefen Ebene, wo die Kraft der Basis der Ebene parallel wirkt; der Umfang p der Spindel ist die Basis, die Ganghöhe h die Höhe der schiefen Ebene; damit die Kraft P der Last Q das Gleichgewicht halte, muß also $P = Q.\frac{h}{p} = Q.tg\,\alpha$ sein, wenn α den Neigungswinkel der Gänge, die Steigung der Schraube bedeutet; dies ist aber auch der Winkel bac des Dreiecks abc.

Es würde Nichts zur Deutlichkeit beitragen, dieses Gesetz durch einen Versuch nachweisen zu wollen, da gerade bei der Schraube die Reibungswiderstände so sehr groß sind, daß sie meistens die wirkenden Kräfte weit überwiegen. So erfüllen z. B. alle Druckschrauben ihren Zweck lediglich durch die Reibung, die also hier die Kraft, mit der die Spindel oder der Schwere folgen müßte, ganz aufhebt.

Man unterscheidet die Schrauben zunächst als rechts und links gewundene, je nachdem sie, beim Einschrauben rechts oder links herum gedreht werden müssen. Das Gewinde in (Fig. 105) stellt eine rechtsgewundene Schraube vor; hätte man das Dreieck abc mit seiner Spitze a in dem Punkte b der Spindel angelegt und ebenfalls vorn herum, also links um die Spindel gewunden, so wäre eine links gewundene Schraube entstanden. Fig. 68 stellt eine links gewundene Schraube vor.

Im ersten Falle legt sich die Hypotenuse ac des Dreiecks an der Vorderfläche des Cylinders von Links nach Rechts steigend um den Cylinder, im anderen von Rechts nach Links steigend. Wenn man also eine Schraubenspindel vertical vor das Auge hält, so steigen die Gänge der rechts gewundenen nach Rechts, die der links gewundenen nach Links hin. Links gewundene Gewinde werden nur selten gebraucht, z. B. an der linken Seite der Wagenachsen, um das Abschrauben zu verhindern.

Nach der Form der Gewinde unterscheidet man Schrauben mit dreieckigen Gewinden und solche mit viereckigen. Erstere sind in (Fig. 106), letztere in (Fig. 107) dargestellt.

Der Bestimmung und Verwendung nach dürften folgende Arten der Schrauben hervorzuheben sein.

a) Druckschrauben, welche dazu dienen, zwei Körper an einander zu befestigen. Die Spindel geht ohne Gewinde durch den ersten Körper hindurch und schraubt sich in den zweiten. Solche Schrauben heißen Klemmschrauben. Oder die Spindel geht durch beide Körper ohne Gewinde und wird jenseits durch eine Mutter festgehalten. Entweder des besseren Aussehens wegen, oder weil ein anderer Körper auf die

Fläche, wo der Schraubenkopf sich befindet, aufgesetzt oder gar darüber bewegt werden soll, werden die Schraubenköpfe versenkt (Fig. 70).

Bei vielen Instrumenten werden schwach konische oder cylindrische Zapfen, Arme an Ständern ꝛc. in Hohlkegeln, resp. Hohlcylindern mittelst einer durch die Wandung der letzteren geführte Druckschraube festgehalten, so daß die bei gelüfteter Schraube möglichst drehende oder fortschreitende Bewegung des Zapfens, Arms, Stiels ꝛc. durch Anziehung derselben verhindert wird. Eine solche Schraube heißt Bremsschraube. Denselben Namen führen alle Schrauben, welche das Fort-

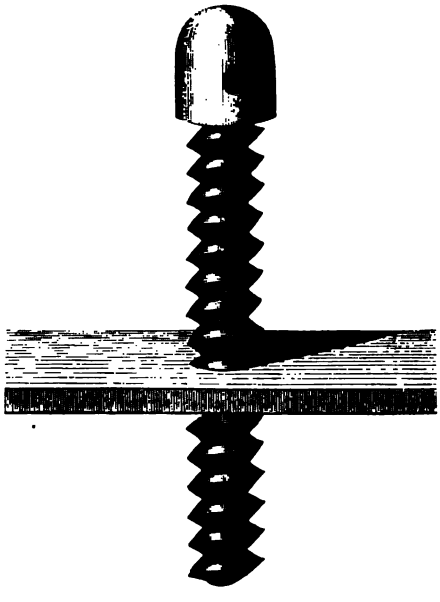


Fig. 106.

Fig. 107.

gleiten zweier Körper über einander, auch wenn sie sich in ebenen Flächen berühren, mag die Bewegung fortschreitend oder drehend sein, zu verhindern bestimmt sind. Eine Bewegung durch eine solche Schraube hemmen heißt den betreffenden Körper bremsen. Bremsschrauben an feinernen Instrumenten sollten nie unmittelbar auf die ebenen oder krummen Flächen der zu bremsenden Maschinentheile wirken, es sollte stets ein Metallblatt von größerer Fläche dazwischengelegt werden.

b) Corrections-, Justir- und Stellschrauben. Die einfachsten Schrauben dieser Art sind die Fuß- oder Stellschrauben, welche dazu dienen, ein Instrument richtig aufzustellen. Besteht der unterste Theil eines Instruments aus einer ebenen Metall- oder Holzplatte, so führt man an drei geeigneten Stellen je eine Schraube mit verticaler

Spindel und großer Kopfscheibe durch diese Platte. Manche Instrumente haben an sich die Hülfsmittel, woran man die horizontale Lage der Fußplatte, oder die verticale eines darauf senkrechten Ständers erkennen kann, z. B. bei der Fallmaschine muß das eine Gewicht mitten durch die an den Ständer angeschraubte Platte hindurchgehen; wo ein solches Hülfsmittel nicht vorhanden ist, muß man ein Loth anbringen, das sich auf einen bestimmten Punkt einstellt; sonst dient auch die Libelle dazu. Oft bringt man an solchen Instrumenten mit Fußplatte nur zwei verstellbare Schrauben an und ersetzt die dritte durch einen festen, unveränderlichen Stift. Um kleinere Instrumente, denen solche Stellschrauben fehlen, immer leicht in die richtige Stellung bringen zu können, sollte man sich eine mit drei Fußschrauben versehene Glasplatte von 5—10 mm. Dicke, 40 cm. Länge und 30 cm. Breite halten, oder auch eine runde Platte von 30—40 cm. Durchmesser. Die Schrauben werden an zwei

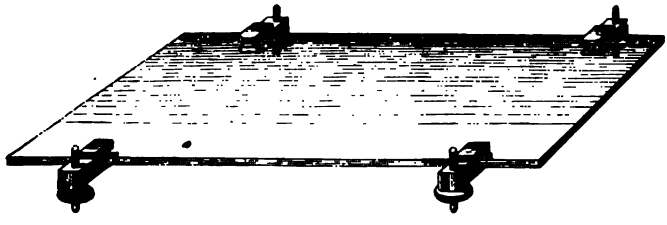


Fig. 108.

Ecken und in der Mitte der Gegenseite angebracht, wenn die Platte viereckig ist, an drei um 120° von einander abstehenden Punkten, wenn sie rund ist. Wo nur zwei Schrauben verwendet werden sollen, nimmt man für die dritte einen Stift. Das Anbringen dieser Schrauben an die Glasplatte kann auf verschiedene Art geschehen, mag aber füglich dem Mechaniker überlassen werden, nur muß sie Festigkeit und Sicherheit gewähren; die Schrauben dürfen nicht zu dünn sein, müssen in den Spindeln einen Durchmesser von wenigstens 5 mm. haben und nicht unter 1,5 cm. in den Muttern laufen. (Fig. 108) stellt eine viereckige Platte mit vier Stellschrauben vor, bei der jedes Umkippen verhindert wird, auch wenn man schwerere Instrumente daraufstellt; mit Hülfe der Schrauben läßt sich die Platte immer feststellen, auch wenn die Unterlage (der Tisch) nicht eben sein sollte. Selbstverständlich wird sie vor jedem Versuche mittelst einer empfindlichen Libelle horizontal gestellt, indem man an den Schrauben so lange corrigirt, bis die Libelle einsteht.

Bei schwereren Instrumenten ruhen die Enden der Schrauben in besonderen Lagern (Fig. 109); die Schrauben haben stumpfe Spitzen und stellen sich in konische Einsenkungen der Unterlagen; die Mutter ist aufgeschlitzt, mit Flanschen a versehen, die durch eine Schraube c zusammengehalten werden; durch diese Einrichtung wird das Würgen sowohl wie

der todte Gang der Schraube vermieden. Das untere Ende der Schraube ist auch wohl mit einem Kugelgewinde versehen, die Unterlage ist also beweglich und besteht aus einer ebenen Platte d. Bei anderen sind die Köpfe der Schraube nach Unten gekehrt, die Spindel nach Oben; im Uebrigen sind sie wie die vorigen eingerichtet (vergl. Fig. 108). Manchmal giebt man der beweglichen Unterlage noch drei Spitzen, auf denen das Ganze ruht. Allemal müssen die Schraubenköpfe gerändert sein.

Einige Correctionsschrauben stehen auf dem zu bewegenden Gegenstande stumpf auf, stoßen ihn beim Hineinschrauben vor sich her, können ihn sich aber nicht wieder heranholen; dann muß eine zweite Schraube vorhanden sein, um die entgegengesetzte Bewegung zu bewirken (vgl. Fig. 95 s und t). Andere greifen in den zu bewegenden Körper ein, die Spindel dreht sich außerdem in einem flachen Lager ohne Gewinde, kann darin weder vor- noch rückwärts gehen, sich blos drehen; die Mutter kann sich nicht drehen, aber vor- und rückwärts bewegen; sie geht also nach der einen oder anderen Seite, je nachdem die Spindel links oder rechts gedreht wird. Dies sind die bei optischen Meßinstrumenten üblichen Correctionsschrauben, wodurch besonders die Nonien eingestellt werden. (Vgl. Fig. 114, S. 120.)

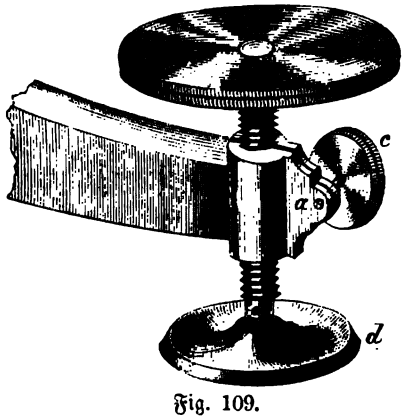


Fig. 109.

c) Die Schraube ohne Ende dient zur Erzeugung einer kreisförmigen Bewegung, z. B. beim Meßtisch, beim Inclinatorium u. s. w., wo es darauf ankommt, eine Gesichtslinie oder einen Theilstrich auf einen bestimmten Punkt einzustellen, was nur bei langsamer Bewegung mit Sicherheit auszuführen ist (Fig. 110).

d) Mikrometerschraube nennt man jetzt jede Schraube mit engem Gang, auch besonders die unter (b) zuletzt erwähnten Correctionsschrauben. Richtig ist dies nicht; aber wer will gegen den Strom schwimmen! Mikrometerschraube im eigentlichen Sinn heißt eine Schraube, die dazu bestimmt ist, kleine Größen zu messen und feine Eintheilungen auf Glas, Metall ꝛc. aufzutragen.

Jede Schraube bewegt sich oder ihre Mutter während einer vollen Umdrehung um die Größe ihrer Ganghöhe nach der Richtung der Spindelachse fort, bei 1 mm. Ganghöhe um 1 mm., und gehen n Gänge auf 1 cm., so rückt sie bei einer Umdrehung um $\frac{1}{n}$ cm. weiter. Man giebt der Spindel einen Kopf in der Form einer kreisrunden Scheibe, theilt den Rand dieser Scheibe in eine runde Anzahl (etwa 100) gleiche

Theile, verbindet mit dem Ständer, in welchem die Spindel sich ohne Gewinde dreht, einen Zeiger oder Index, dessen Spitze auf die Theilung des Schraubenkopfs zeigt; diese Vorrichtung gestattet, von der getheilten Scheibe Bruchtheile einer Umdrehung abzulesen. Geht dann die Spindel durch eine nicht drehbare, sondern nur in der Richtung der Spindelachse bewegliche Mutter, so wird man es in der Gewalt haben, die Mutter um eine beliebige ganze oder gebrochene Anzahl Ganghöhen der Schraube nach der einen oder anderen Seite fortzurücken, oder, wenn mit der Mutter ein Index, Stift oder Aehnliches verbunden ist, diesen auf bestimmte Punkte einzustellen, und die Ganghöhen und Theile derselben von der Zählscheibe abzulesen, um welche die Mutter von der einen Einstellung zur anderen hat verschoben werden müssen, d. h. die Entfernungen zwischen diesen Punkten zu messen. Und

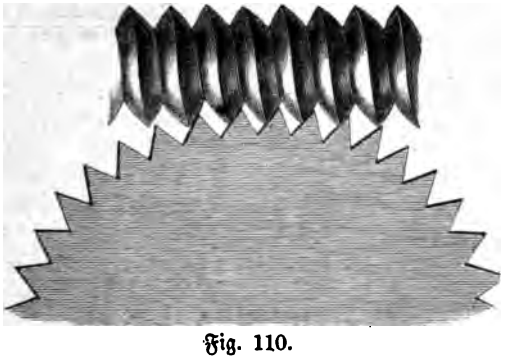


Fig. 110.

ist mit der Mutter ein Zeichenstift verbunden, so kann man nach immer gleichen Drehungen mit dem Stift einen Strich ziehen, folglich gleiche Theile, oder Theile, die eine bestimmt gegebene Größe haben, abtragen.

Zu den hier genannten Arbeiten indeß muß man den Werth der Ganghöhe der Schraube genau kennen. Man lege neben die bewegliche Mutter einen Normalmaßstab, so wird man mit Hülfe des Index der Mutter ablesen können, um wie viel sich dieser bei einer vollen Umdrehung verschiebt. Da keine Schraube vollkommen gleiche Gänge hat, so wird man den Werth der Ganghöhe nicht aus einem einzelnen Gang, sondern durch das Mittel aus einer größeren Anzahl Gänge bestimmen. Man wird zu dem Zwecke den Index der Mutter auf einen Strich des Maßstabes setzen, die Schraube so lange drehen, bis der Index über eine beliebig gewählte Anzahl Längeneinheiten des Maßstabes fortgegangen ist, die ganzen Umdrehungen der Schraube zählen und von der getheilten Kreisscheibe den betreffenden Bruchtheil einer Umdrehung ablesen und zu den ganzen Umdrehungen zuzählen; machen m Umdrehungen n Längeneinheiten aus, so ist die Ganghöhe der Schraube $= \frac{n}{m}$ Längeneinheiten des Maßstabes.

Man kann auch, um noch Bruchtheile eines Theils der Kreisscheibe ablesen zu können, statt des einfachen Zeigers, eine Noniusplatte an-

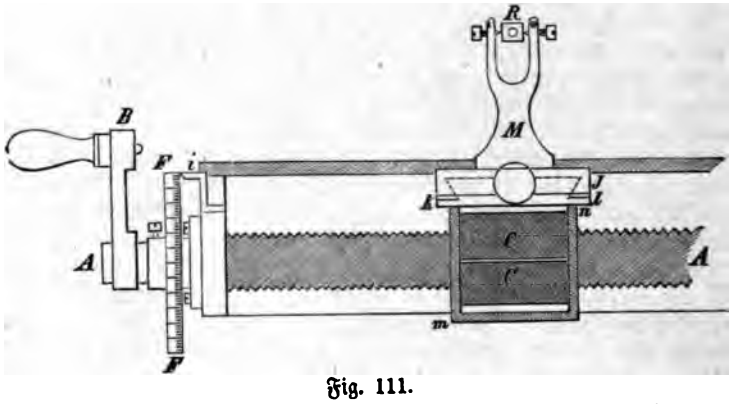


Fig. 111.

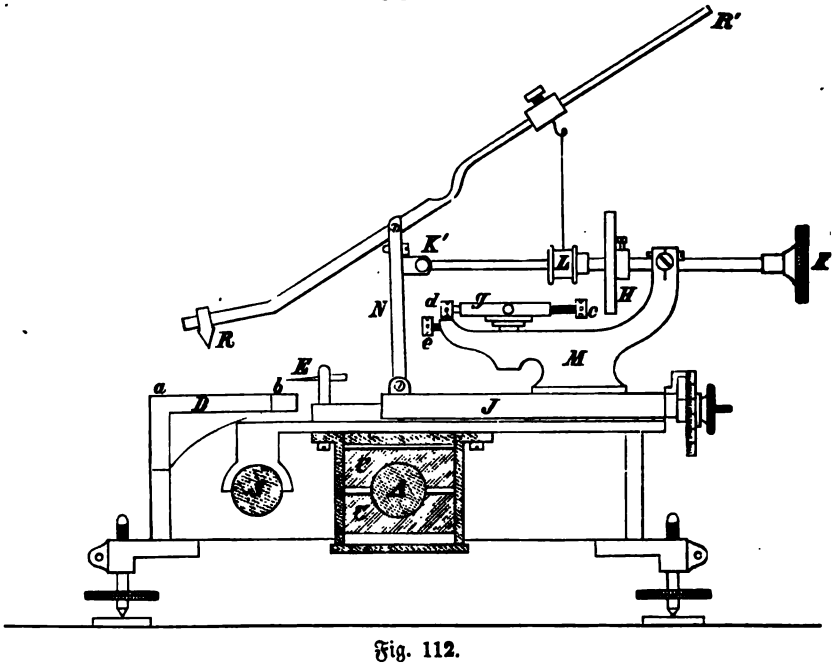


Fig. 112.

bringen, wodurch z. B. noch Zehntel eines Theils der Kreistheilung angegeben werden. Die Noniusplatte steht fest, legt sich dicht an die Theilscheibe an und trägt, wie diese, ihre Theilung auf der Peripherie.

e) Die Längentheilmaschine besteht aus einer sehr genau gearbeiteten, feinen Stahlschraube, deren Gänge höchstens 1 mm. Höhe haben. AA (Fig. 111 u. 112) stellt diese Schraube vor, erstere im Längen-, letztere im Querschnitt. An jedem Ende dreht sich diese Schraube ohne Gewinde in einem festen Lager, so daß sie selbst bei der Drehung keine Bewegung in der Richtung ihrer Längenachse annehmen kann, weder vor- noch rückwärts. Am einen Ende, auf der linken Seite, ist diese Schraube mit einer Kurbel B (Fig. 110) versehen, mittelst deren sie um ihre Längenachse gedreht wird. Mit der Schraube A steht eine aus zwei Hälften bestehende Schraubenmutter C in Verbindung, welche dieselbe lagerförmig umgiebt. Dreht man die Schraube A mittelst der Kurbel B um ihre Längenachse, so wird dadurch die Mutter C fortbewegt, rechts oder links, je nachdem links oder rechts gedreht wird.

Der Körper M vermittelt die Verbindung zwischen der Schraube A und dem Reißerwerk. Der Rahmen mn, in welchem die beiden Hälften der Mutter C auf- und niederbewegt werden können, trägt das Metallstück kl mit schwalbenschwanzartigem Falz, in welchem sich der Schlitten J bewegt, auf dem das Reißerwerk aufgebaut ist. Dieses besteht aus dem Ständer M, dem Gelenkstück N und dem Hebel RR′ (Fig. 112). K (Fig. 111) ist der Kopf eines Stabes KK′, mit welchem der Arm N, und damit RR′ vor- und rückwärts geschoben wird, L eine auf KK′ befestigte Rolle, von der ein Faden zum Hebel RR′ geht.

Der zu theilende Gegenstand wird bei a (Fig. 112) auf der Borte D durch Schrauben, und rechts daneben bei b das Normalmaß, welches copirt werden soll, befestigt. Um die Arbeit zu beginnen, stellt man das Reißerwerk so, daß der Index E mit dem ersten Strich des Normalmaßes zusammenfällt und copirt diesen mittelst des Reißstiftes R auf dem zu theilenden Gegenstande. Dann dreht man die Schraube AA so, daß der Index E auf den folgenden Strich des Normalmaßes trifft, copirt diesen und fährt so mit allen folgenden Strichen fort.

Das Einritzen der Striche geschieht auf folgende Weise. Man schiebt den Kopf K so weit es geht nach Vorne, dreht ihn dann links herum, so daß sich die Schnur von der Rolle L abwickelt und der durch aufgelegte Gewichte beschwerte Reißer R mit dem zu theilenden Gegenstande in Berührung kommt. Nun zieht man den Kopf K wieder zurück; dadurch wird der Reißer ebenfalls zurückbewegt, er macht einen Strich. Durch Umdrehen des Kopfes K nach Rechts herum wickelt sich die Schnur wieder auf die Rolle, der Reißer wird wieder gehoben und man kann den zweiten Strich beginnen.

Um abwechselnd kurze und lange Striche machen zu können, ist die drehbare Scheibe g angebracht, welche an ihrem Umfange mit einigen Kopfschrauben versehen ist, die man beliebig heraus oder weiter hinein schrauben kann. Bei der Rückwärtsbewegung des Reißers stößt die Scheibe H gegen die ihr zugekehrte Schraube c, wodurch der Reißer verhindert wird, weiter vorwärts zu gehen. Dreht man die Scheibe g, so daß jetzt die Schraube d an die Stelle von c kommt, so wird man mit

dem Reißer eine größere Vorwärtsbewegung machen können, der Strich wird folglich länger werden. Die Rückwärtsbewegung wird durch die Schraube e regulirt, indem der Stift KK′ nur so weit zurückgezogen werden kann, bis der Gelenkarm N gegen e anstößt. Für Theilungen auf Metall besteht der Reißstift aus einem harten Stahlgriffel, für Glas aus einem Schreibdiamant.

Durch eine Hebelvorrichtung, die in die Figur nicht aufgenommen ist, kann man die aus zwei Hälften bestehende Mutter CC öffnen und dann beliebig verschieben, ohne durch das Schraubengewinde behindert zu sein; will man eine neue Theilung beginnen, so hat man daher nicht nöthig, das Reißerwerk ganz zurückzuschrauben; man schaltet einfach die Mutter aus und schiebt es so weit zurück als nöthig.

Der Schlitten J, welcher mit dem Reißerwerk in Verbindung steht, gestattet, daß man den Reißer R genau an der gewünschten Stelle angreifen lassen kann. Um der Bewegung mehr Sicherheit zu geben, dient der cylindrische Stab S als Führung, indem seine halbkugelförmige Umhüllung mit dem im Schlitten J bewegten Reißerwerk in fester Verbindung steht, also sich zugleich damit fortschiebt.

Aus dem oben (unter d) über die Mikrometerschraube Gesagten ersieht man, daß die Theilmaschine nicht blos zum Copiren einer vorliegenden Theilung dient, sondern eben so gut dazu benutzt werden kann, Theile von gegebener Größe aufzutragen, ohne eine bestimmte Vorlage zu haben, oder auch eine gegebene Länge in eine Anzahl gleicher Theile zu theilen. Man muß in diesem letzten Falle die Länge eines Theiles nach dem (unter d) beschriebenen Verfahren ausmitteln und für die beiden letzterwähnten Anwendungen den bekannten oder so ausgemittelten Werth der Theile in Ganghöhen der Schraube ausdrücken. Die ganzen Umdrehungen und Bruchtheile derselben werden an der Theilscheibe FF mittelst des Index i abgelesen.

f) Die Differentialschraube ist eine Schraube mit zwei verschiedenen Gewinden auf derselben Spindel; jedes Gewinde hat seine besondere Mutter. Steht die Mutter des gröberen Gewindes fest, ist aber die des feineren nach der Achsenrichtung der Spindel beweglich, aber nicht drehbar, so rückt die Spindel bei einer Umdrehung in der festen Mutter um die Höhe eines der gröberen Schraubengänge vor, in der beweglichen Mutter dagegen um die Höhe eines der feineren Schraubengänge; nun aber rückt die Spindel jedenfalls um die erstere Größe nach der Richtung, wohin sie geschraubt wird; also zieht sie die bewegliche Mutter um die Differenz der Schraubengänge beider Gewinde nach der festen Mutter heran. Dies ist der Fall, wenn man rechts schraubt (wir setzen hier überall rechtsgängige Schrauben voraus); schraubt man links, so entfernt sich die bewegliche Mutter bei einer Umdrehung der Spindel um die Differenz der Höhen der Schraubengänge von der festen.

In (Fig. 113) stellen ACB und DFE zwei Differentialschrauben vor, die in dieser Zusammenstellung freilich nur zur Veranschaulichung

dieser Art der Schrauben dienen. In dem Rahmen MNN'M' von hartem Holze ist A ein vierseitiges Prisma von demselben Stoffe; es steckt in einer gleichgestalteten Höhlung der Seite M'N' des Rahmens, ist also nur nach der Längenachse verschiebbar, aber nicht drehbar. Das Prisma A bildet die Mutter für das Gewinde C; an derselben Spindel ist noch ein größeres Gewinde B geschnitten, das seine Mutter in der Seite MN des Rahmens hat. Schraubt man rechts, so holt die Schraube das Prisma bei jeder ganzen Umdrehung um die Differenz der beiden Ganghöhen heran, schraubt man links, so wird das Prisma bei einer vollen Umdrehung der Spindel um ebenso viel nach der entgegengesetzten Richtung geschoben. Bei der Differentialschraube DFE

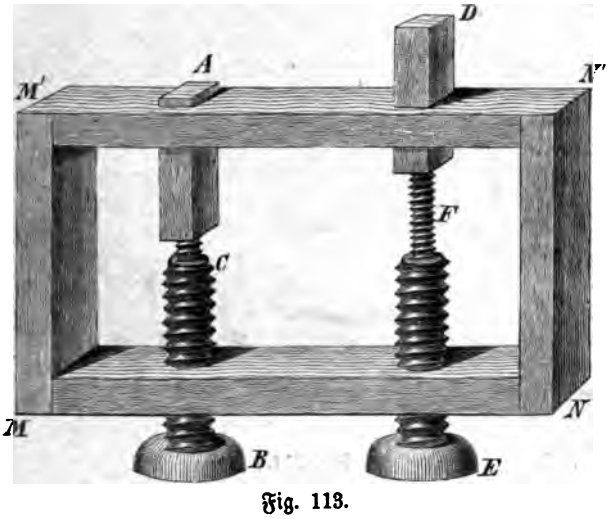


Fig. 113.

ist das feinere Gewinde F mit dem Prisma D zu einem Körper verbunden, die Spindel E mit dem gröberen Gewinde ist der Länge nach gebohrt, in die Bohrung ist das zu F passende Gewinde geschnitten, so daß sich F in das Prisma E hineinschraubt. Bei einer vollen, rechtsgehenden Umdrehung der Spindel E rückt F, und damit das Prisma D um die Differenz beider Ganghöhen heran, bei linker Drehung um eben so viel abwärts.

Es ist schwer, Schrauben von kleinen Ganghöhen völlig gleichmäßig zu schneiden, um so schwieriger, je feiner sie sind; und doch sind bei Mikrometerschrauben, Feinheit und Regelmäßigkeit der Gänge, d. h. gleiche Höhe aller Gänge, unerläßliche Erfordernisse, insbesondere, wenn sie nicht blos als feine Bewegung, sondern zugleich zum Messen sehr kleiner Distanzen oder sehr kleiner Winkel gebraucht werden sollen. Die Differentialschraube gewährt den Vortheil eines feinen Gewindes, ohne

daß es nöthig wäre, ein feines Gewinde zu schneiden, denn die Differenz der Ganghöhen zweier Gewinde kann beliebig klein sein, ohne daß die Gewinde selbst so fein sind, daß ihre Anfertigung der Technik Schwierigkeiten in den Weg legte.

Differentialschrauben eignen sich also ganz vorzüglich zu messenden Mikrometerschrauben, aber auch selbst zu Corrections- und Justirschrauben, weil ein sicheres Einstellen um so eher möglich ist, je langsamer die Bewegung vor sich geht. Wir wollen hier zunächst eine Correctionsschraube, welche die feine Bewegung an einem Winkelmesser vermittelt, betrachten. AB (Fig. 114) sei der getheilte Rand oder Limbus des Winkelmessers, der die Theilung in 360° enthält; es kann jeder Grad auch noch, wie

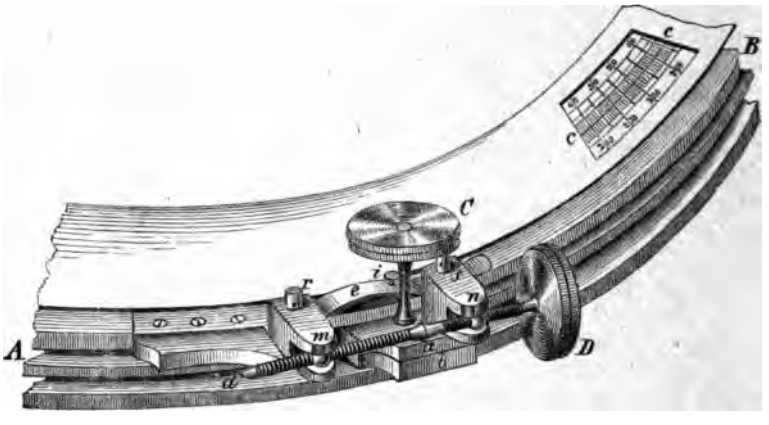


Fig. 114.

gewöhnlich der Fall, in 2 oder 4 Theile getheilt sein. Ueber diesen Horizontalkreis (auch wohl blos Kreis genannt) greift der Alhidadenkreis, welcher die zur Theilung gehörigen Nonien enthält, hinüber; ein mit Glas gedeckter Ausschnitt cc läßt einen Theil der Kreistheilung und den Nonius dicht neben einander sehen (zuweilen sind 2, bei größeren Instrumenten auch wohl 4 Nonien vorhanden). Mit dem Alhidadenkreis ist die Mutter m des einen Gewindes der Mikrometerschraube Dd, mit dem getheilten Limbus die des anderen Gewindes n verbunden, nachdem die Bremsschraube C angezogen worden. Die kugelförmigen Muttern m, n werden zwischen besonderen Platten festgehalten, welche durch die Schrauben r, s an den Kreis befestigt sind. Das Festklemmen am Limbus geschieht nämlich durch die Halterplatten a, b; a trägt eine nach Oben gerichtete kleine Schraubenspindel, welche durch eine längliche Oeffnung im Rande des Alhidadenkreises hindurchreicht; über der Oeffnung liegt eine etwas gebogene Feder e, über welche eine Mutter i auf die kleine Spindel gesetzt wird. Die zweite Halterplatte b läuft

mit zwei vorstehenden Knöpfchen in einem Falz an der Unterfläche des Limbusrandes (dieser Theil kann an der Figur nicht sichtbar sein); die Bremsschraube C geht ohne Gewinde durch a und schraubt sich in b ein. Hat man die Schraube C angezogen, so sind beide Halterplatten a, b, und damit die Mutter n an den Limbus befestigt, während die Verbindung mit dem Alhidadenkreis so lose ist, daß einer Verschiebung desselben durch die Mikrometerschraube Dd Nichts im Wege steht; die erwähnte Feder e verhindert ein starkes Andrücken des Schräubchens i; da die Feder hohl liegt. Dreht man nun die Mikrometerschraube, so rückt der Alhidadenkreis bei jeder vollen Umdrehung des Schraubenkopfes D um die Differenz beider Schraubengänge nach Rechts oder Links, je nachdem die Drehung des Schraubenkopfes vor sich gegangen. Um so viel als überhaupt die Alhidade durch die Mikrometerschraube verschoben werden kann, gestattet der längliche Einschnitt der kleinen Schraube, und damit der Alhidade, gerückt zu werden. Hat man den Faden im Fernrohr bei gelöster Bremsschraube, durch freie Drehung des Alhidadenkreises nahe genau auf ein anvisirtes Object eingestellt, so ziehe man die Bremsschraube an und bewirke die genaue Einstellung mittelst der Mikrometerschraube Dd, welche um so sicherer zu bewerkstelligen ist, je geringer die Verschiebung des Kreises bei einer Drehung der Schraube um eine gewisse Größe ausfällt, d. h. je langsamer die Bewegung vor sich geht.

Man stelle jetzt den Index, d. h. den Nullpunkt des Nonius durch freie Drehung der Alhidade auf einen beliebigen Punkt der Theilung ein, schließe die Bremsschraube und schreibe sich den durch den Index angezeigten Punkt heraus, bezeichne dann irgend einen Punkt am Kopf der Mikrometerschraube, z. B. den nach geschehener Einstellung gerade nach Oben liegenden, drehe die Schraube einige Mal herum und zähle die ganzen Umdrehungen; liest man dann den Nonius wieder ab, so findet man, welchen Bogen der Index bei der Zahl der gemachten Umdrehungen zurücklegt; ich finde z. B. bei einem Theodoliten, daß 20 Umdrehungen einen Bogengrad ausmachen, eine Umdrehung also 3 Minuten. Leicht läßt sich mit der Klemme der Mutter n ein Zeiger verbinden, der auf einen Strich am Schraubenkopf D weist, wodurch die Umdrehungen genauer bestimmt werden können. Man würde also schon durch diese Umdrehungen kleine Winkel messen können, um so eher, wenn der Schraubenkopf getheilt wäre, so daß man Theile einer vollen Umdrehung ablesen könnte, und noch genauer, wenn neben dem drehbaren, getheilten Schraubenkopf eine feste Scheibe mit einer Noniustheilung angebracht wäre, die sich dem Schraubenkopf genau anschlösse. Da eine solche Schraube nur eine drehende, keine progressive Bewegung hat, so ist diese Einrichtung leicht zu treffen, ohne daß sich die Noniusscheibe dreht.

Die Differentialschraube wird in der Technik lange noch nicht so vielfach angewendet, wie sie es verdiente; es ist sehr zu wünschen, daß die Mechaniker sich ihr vielmehr zuwenden, als es bisher geschehen; die Physiker werden es ihnen gewiß Dank wissen.

G) Doppel- und mehrgängige Schrauben werden jetzt in

der Technik vielfach gebraucht, verdienen deshalb einige Berücksichtigung. Wenn es darauf ankommt, ein schnelles Vor- oder Zurückgehen der Schraubenspindel zu bewirken, muß die Ganghöhe groß, das Gewinde steil sein. Dadurch werden die Gänge unverhältnißmäßig breit; sind dann die Gänge nicht zugleich tief geschnitten, wie es bei dünnen Hohlkörpern der Fall ist, so könnten sie überschrauben, da sie namentlich sehr lose gehen müssen, um Reibung zu vermeiden. Man schneidet daher in solchen Fällen zwei und mehr, bis zu fünf parallele Gänge ein. Soll eine von Oben nach Unten in die feststehende Mutter getriebene Spindel, nachdem man sie losgelassen, in Folge des erlangten Stoßes beim Aufschlagen, von selbst wieder zurückgehen, wie bei den Stempelpressen, so muß sie auch lose laufen; um ihr doch die nöthige Festigkeit zu geben, macht man sie mehrgängig, wie (Fig. 115), welche eine viergängige Schraube vorstellt.

Fig. 115.

6. Die Reibung.

Durch die sogenannten Tribometer bestimmt man entweder die Reibung an sich, d. h. das Gewicht, welches nöthig ist, um den Körper in Bewegung zu setzen, oder den Reibungswinkel. Bei der ersten Methode kann man sich des Apparates bedienen, welcher für das Gleichgewicht auf der schiefen Ebene benutzt worden. Die Ebene bleibt aber horizontal liegen. Auf die durch Fußschrauben horizontal gestellte Ebene legt man Platten aus denjenigen Stoffen, deren Reibung mit anderen gefunden werden soll; auf sie legt man diese Körper, die an geeigneter Stelle mit einem Haken versehen werden, um die über die Rolle zu ziehende Schnur daran zu befestigen; an das Ende der Schnur wird eine Schale befestigt, auf die man die Gewichte legt, durch die die anfangende Bewegung erzeugt werden soll. Um den eigentlichen Anfang der Bewegung mit Sicherheit bestimmen zu können, darf man die Gewichte nur durch kleine Zulagen vermehren, etwa mittelst gekörnter oder pulverförmiger Körper. Der Reibungscoefficient ist das zur anfangenden Bewegung erforderliche Gewicht, dividirt durch das Gewicht des dem Versuche unterworfenen Körpers.

Nach der zweiten Methode bestimmt man den Neigungswinkel, bei welchem der Körper anfängt, über die schiefe Ebene herunter zu gleiten. Aus dem so bestimmten Reibungswinkel α berechnet man den Reibungscoefficienten nach der Formel $\mu = \operatorname{tg} \alpha$. Das Aufheben der Ebene, bis das Herabgleiten erfolgt, wird aber nie zuverlässige Resultate geben,

wenn es aus freier Hand geschieht; es muß durch eine fein geschnittene Schraube bewirkt werden. (Fig. 116) stellt den zu benutzenden Apparat vor, wobei nur zu bemerken, daß in die im Charnier bei B drehbare Platte BC ein hartes Stahlplättchen bc eingelassen wird, gegen welches die Schraube E sich stützt; die Grundplatte AD wird auf eine andere auf drei Füßen ruhende Platte gelegt, welche nach der Libelle horizontal

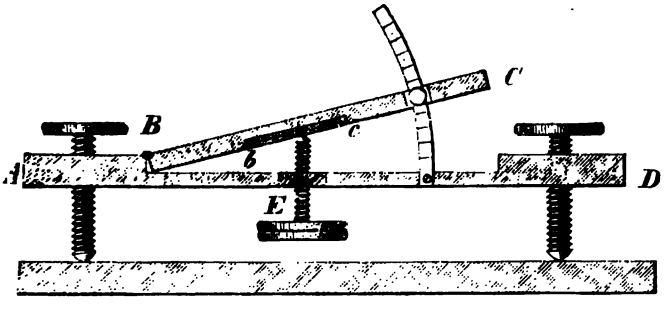


Fig. 116.

gestellt wird. Ein Gradbogen gestattet, den Neigungswinkel abzulesen Durch Versuche mit den eben beschriebenen Apparaten kann man sämmtliche Gesetze über die Reibung prüfen und constatirt finden.

Bei der Achsendrehung stützen sich die Enden der sich drehenden Achsen, die Zapfen, auf Lager, und es entsteht die sogenannte Zapfen-

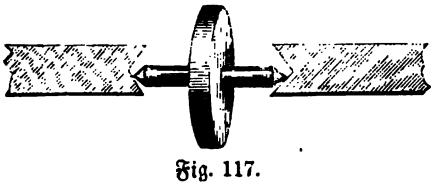


Fig. 117.

reibung. An feinen Instrumenten pflegt man diese dadurch zu vermindern, daß man die Achse an beiden Enden in Spitzen abdreht (Fig. 117) und diese auf stumpfen Hohlkegeln ruhen läßt, wobei sie aber nicht die Spitzen der Hohlkegel erreichen dürfen, sondern lediglich auf den inneren Mantelflächen liegen müssen. Diese Hohlkegel sind häufig in die Endflächen von Schrauben geschnitten, welche in Seitenständern des Instruments stecken und beliebig angezogen und loser gemacht werden können, um die Reibung zu reguliren. Die Spitzen der Achse, so wie die Körper, in welche die Hohlkegel gebohrt sind, müssen aus hartem Stahl bestehen. Damit solche Schrauben, die als Lager von Radachsen dienen, sich bei der Bewegung der letztern nicht freiwillig lösen, wird auf die Spindel eine sich gegen den festen Ständer anlehnende sogenannte Sicherheitsmutter aufgesetzt.

Ein anderes Mittel zur Verminderung der Reibung sind die Frictionsrollen oder Frictionsräder. Es kommt oft darauf an, bei feinen Rädern den Reibungswiderstand auf ein Minimum zu bringen. Die Radachsen erfahren in ihren Lagern gleitende Reibung; da diese größer ist als die wälzende, so verwandelt man sie in diese dadurch, daß man die Zapfen nicht in festen Lagern laufen läßt, sondern in die krummlinigen Winkel legt, welche zwei Rollenpaare mit einander bilden, die dicht neben einander angebracht sind, wie a,b (Fig. 118) das eine vordere Paar zeigt; das hintere ist in der Figur nicht sichtbar. Die Frictionsrollen bewegen sich der Richtung der Radbewegung entgegengesetzt, wie die Pfeile andeuten. Wenn man dasselbe Rad, das eine Rolle sein kann, auf deren Umfang ein Seil gewickelt ist, an welches man so viel Gewicht hängt, daß es eben Bewegung erzeugt, auf festen Lagern laufen läßt, dann bei einem zweiten Versuche auf Frictionsrollen

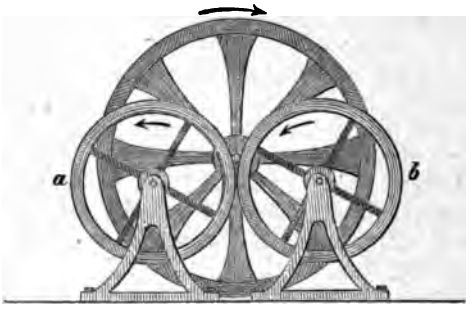


Fig. 118.

bringt, und wieder so beschwert, daß die Reibung eben überwunden wird, so erfährt man, in welchem Verhältniß die Reibung an den festen Lagern zu der an den Frictionsrollen steht. Diese zurückbleibende Reibung rührt hauptsächlich von der gleitenden Reibung der Achsen der Frictionsrollen in ihren Lagern her; da aber diese Achsen einen sehr kleinen Umfang haben, so ist auch ihre Reibung nur ein kleiner Bruchtheil von der der Radachse auf festen Lagern.

7. Der Schwerpunkt.

Die ersten Versuche über den Schwerpunkt stelle man mit einem dünnen, aber steifen Drahte an, der, in der Mitte unterstützt, sich auf einer schmalen Schneide in horizontaler Lage erhalten wird. Befestigt man gegen das eine Ende hin irgend einen kleinen Körper, z. B. ein Klümpchen Wachs, so wird man den Unterstützungspunkt näher an diesen Körper heranrücken müssen, wenn Gleichgewicht eintreten soll. Dann nehme man dünne Blechplatten von verschiedenen Formen, befestige an

irgend einem Punkte mit Wachs (oder Klebwachs) einen Faden an beiden Seiten der Platte, so daß der Faden doppelt wird, hänge die Platte daran auf, so giebt die Richtung der Fäden einen Schweredurchmesser an. Diese Richtung zeichne man auf der Platte deutlich aus. Dann befestige man die Fäden an zwei anderen einander gerade gegenüber liegenden Punkten, hänge die Platte wieder auf, so bezeichnet die Richtung der Fäden wieder einen Schweredurchmesser. Diese beiden Durchmesser werden sich schneiden, der Durchschnittspunkt wird der Schwerpunkt der Platte sein, und wenn man diese genau in diesem Punkte auf eine verticale Spitze legt, so wird sie sich darauf erhalten. (Es wird letzteres allerdings einige Schwierigkeit haben, weil die geringste Abweichung ein Fallen der Platte zur Folge hat). Bei geometrischen Gestalten der Platten kann man auch den Schwerpunkt construiren und dann das Balanciren in diesem Punkte versuchen. Das Balanciren eines Körpers von drei bemerkbaren Dimensionen auf einer Schneide und Bestimmung des Schwerpunkts dadurch ist rein ideal und führt zu keinem practischen Resultate.

Durch die oben beschriebenen Versuche mit den Platten, die an Fäden aufgehängt werden, findet man leicht den Satz bestätigt, daß der Schwerpunkt stets die tiefst mögliche Lage annimmt, wenn nur der Körper um den Aufhängungspunkt drehbar ist. Man kann durch dieselben Versuche auch zeigen, wann indifferentes, wann stabiles oder labiles Gleichgewicht eintritt, was zwar oben bei den Versuchen über die Hebelgesetze auf anderem Wege an (Fig. 93) gezeigt ist.

Um den Satz, daß ein Körper auf einer horizontalen Ebene nur stehen kann, wenn seine Schwerelinie innerhalb der Grundfläche fällt, experimental nachzuweisen, lasse man sich verschiedene vierseitige Prismen aus hartem Holze anfertigen, bei denen die eine Grundfläche bei einem einen zu den Seitenkanten senkrechten Durchschnitt bildet, während sie bei den anderen unter verschiedenen Winkeln gegen die Kanten geneigt ist.

8. Standfestigkeit der Körper.

Zu Versuchen über die Standfestigkeit der Körper dürfte folgender Apparat sich eignen (Fig. 119 u. 120). An die Halterstange am Experimentirtisch schraube man die mit einer Hülse und Druckschraube versehene Rolle r so, daß die in den Schnurlauf derselben gelegte Schnur nach der Außenseite des Tisches zu hängen kommt. In ein gerades vierseitiges Prisma von hartem Holze C bohre man in die eine Grundfläche, der Mitte der einen Seitenfläche gegenüber, mit dem Centrumbohrer einen cylindrischen Canal bvcd bis zur Mitte der Höhe und gieße ihn voll Blei. Der Schwerpunkt des Körpers wird dadurch aus der Mittellinie db in die Linie rt, und aus der Mitte der Höhe tiefer nach gerückt. In der Mitte der Fläche uw bringe man von Oben nach Unten einen Falz an (Fig. 120 giebt ihn im Grundriß an), in welchem sich ein Metallplättchen mit einiger Reibung verschieben läßt. In das

Metallplättchen ist ein Häkchen x eingeschraubt, das man durch Verschieben des Plättchens in jede beliebige Höhe bringen kann. Dieses so vorbereitete Prisma setze man auf die mit Stellschrauben versehene Glasplatte (Fig. 108) und befestige auf dieser durch an den Enden angebrachte Klemmen eine metallene Schiene u längs der unteren Vorderkante; sie hat 3 mm Höhe und 5 mm Breite und ist gerade so lang als die Grundplatte,

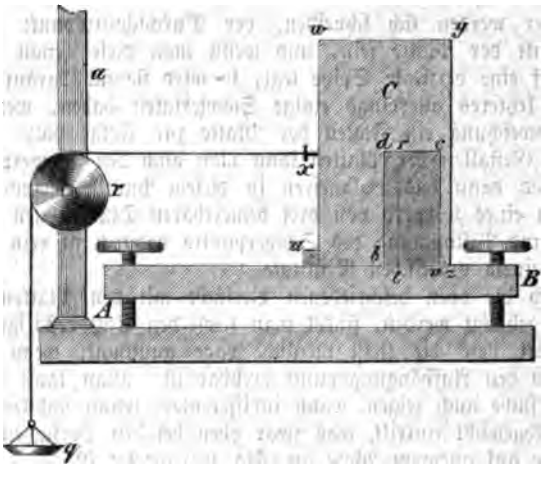


Fig. 119.

so daß die Klemmen über den Rand überfassen können; diese Schiene soll das Prisma verhindern, einem Zuge nach Vorn gleitend zu folgen.

Um einen Versuch anzustellen, ermittele man das Gewicht des

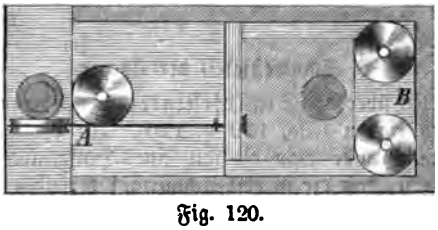


Fig. 120.

Prismas C und die Entfernung des Schwerpunkts, oder doch der Schwerelinie von der Kante u, also die Länge ut, stelle dann die Grundplatte nach der Libelle horizontal. Man rückt nun das Häkchen x auf irgend eine Höhe ux über der Kante u, befestigt einen Faden daran, bringt die Rolle r in eine solche Höhe, daß der darüber fort gezogene Faden horizontal wird, und belastet die am Faden hängende Schale q bis der Körper C eine Drehung um die Kante u zu machen beginnt.

Ist Q das Gewicht des Prismas C, so berechne man die Größe $\frac{ut}{rt} \cdot Q$ und vergleiche dies mit dem auf die Schale q gelegten Gewicht sammt Schale; man wird höchstens eine Abweichung finden, die auf Rechnung der Reibung an der Rollenachse zu beziehen ist. Der Versuch läßt sich noch dahin abändern, daß man das Häkchen x, und dann auch die Rolle r, bald höher, bald tiefer schiebt. Versieht man auch die Rückseite yz mit einem Falze und den Schlitten mit Häkchen, so kann man das Prisma so aufstellen, daß yz Vorderseite wird; der Momentenarm der Last Q wird dann zt, während der Momentenarm der Kraft allemal die Höhe des Häkchens x über der Grundfläche uz ist, also von der x gegebenen Lage abhängt.

IV. Bewegung fester Körper.

1. Freier Fall.

Atwood'sche Fallmaschine. Sie dient dazu, die Gesetze des freien Falls, also der gleichmäßig beschleunigten Bewegung durch den Versuch nachzuweisen. Die Geschwindigkeit fallender Körper ist zu groß, um eine genaue Beobachtung und Vergleichung der durchlaufenen Räume, so wie der dabei erlangten Geschwindigkeiten zu gestatten. Die Fallmaschine bietet den Vortheil, daß die Geschwindigkeit beliebig vermindert werden kann, ohne das Gesetz des Falles zu verändern; durch die Verminderung der Geschwindigkeit wird zugleich der Luftwiderstand, der dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional ist, auf ein Minimum herunter gebracht, so daß er die Resultate so gut wie gar nicht mehr beeinflußt.

Die Fallmaschine beruht auf folgender Erwägung: beim freien Fall ist die bewegende Kraft gerade dem Gewichte des fallenden Körpers, also der bewegten Masse gleich; könnte man die bewegende Kraft geringer machen, ohne die bewegte Masse zu vermindern, so würden die Geschwindigkeit und die Fallräume kleiner und dann zur Beobachtung geeignet werden. Das aber ermöglicht die Fallmaschine.

Sie besteht aus einer leichten Rolle R (Fig. 121) mit Schnurlauf, welche auf einem 2 m. hohen Ständer mit möglichst wenig Reibung um eine horizontale Achse drehbar ist; der Ständer ruht auf drei Stellschrauben aaa, die Lager der Rollenachse sind nach (Fig. 117) eingerichtet. Um die Masse der Rolle, und damit die Reibung und die zu bewegende Masse möglichst zu vermindern ist die Rolle durchbrochen gegossen, besteht also nur aus einem leichten Umfangsreif und einigen dünnen Speichen mit einem sehr dünnen Verbindungsstück im Centrum, welches die stählerne Achse aufnimmt. Damit während der rotirenden Bewegung des Rades die Schrauben ff, in welchen die Spitzen der Radachse lagern, sich nicht lösen können, sind sie mit Sicherheitsmuttern versehen, die aber in die Figur nicht aufgenommen sind. Ueber die Rolle

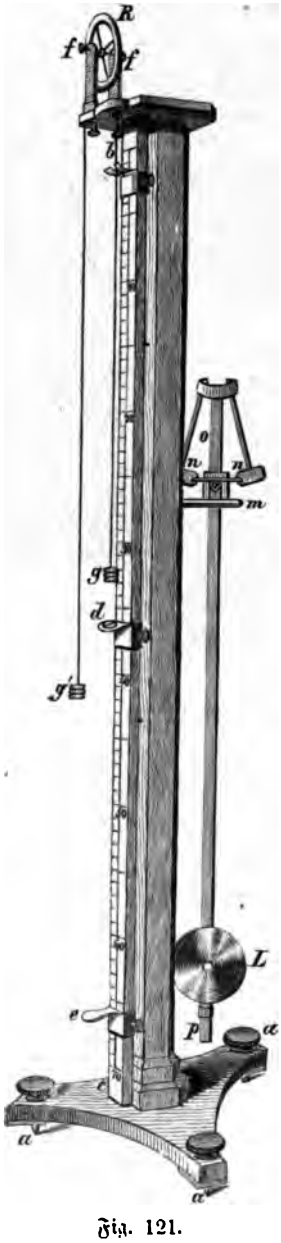


Fig. 121.

wird ein Faden gezogen, dessen Gewicht so gering ist, daß es nicht in Betracht kommt; an den Enden des Fadens werden zwei ganz gleiche Gewichte g,g' angehängt; jedes derselben mag 150 bis 200 oder 300 gr. wiegen; da der Faden über eine feste Rolle geht, so halten diese Gewichte einander in jeder Lage das Gleichgewicht und bleiben folglich in Ruhe. An den senkrechten Ständer ist noch ein besonderer Stab bc befestigt, auf den eine in Centimeter getheilte Scale aufgetragen ist (bei den älteren Maschinen sind Zolle aufgetragen), und das eine Gewicht hängt gerade vor dieser Scale. An dem Scalenstabe können zwei Platten d,e mit je einer Bremsschraube befestigt und beliebig verstellt werden; die obere d, hat einen kreisförmigen Ausschnitt, so daß sie das Gewicht, wenn es fällt, ungehindert hindurchgehen läßt, die andere e, ist voll und dazu bestimmt, das fallende Gewicht am Ziele seiner Bewegung aufzuhalten. Zur Befestigung dieser Platten auf der Scale hat jede Platte einen gabelförmigen Ansatz, womit sie den Stab auf drei Seiten umfaßt; die eine Seite der Gabel ist durchbohrt; durch die Bohrung wird eine Schraube geführt, an deren Ende ein schwach tonisch abgedrehter Messingkörper sich anlegt, der an der Innenseite der Gabel sehr wenig über die an den Stab sich anlehnende Fläche sich vorschieben läßt; auf der Außenseite ist ein Plättchen aufgeschraubt, auf welches gerade auf der Bohröffnung ein der Länge nach durchbohrter und mit Gewinde versehener Cylinder aufgesetzt ist; die Bohrung bildet die Mutter für die Bremsschraube. Die Schraube drückt sich gegen den kleinen Messingkegel und dieser legt sich seitwärts gegen die Scalenstange an, kann aber, da die innere Endfläche des Kegels größer ist als die Bohrung, nicht ganz herausgedrückt werden. Durch diese Einrichtung wird die Stange gegen Eindrücke von dem

Ende der Schraube gesichert, da die Fläche des eingeschobenen Messingkegels breiter als die Endfläche der Schraubenspindel ist.

Um das eine Gewicht bei einem anzustellenden Versuche in einem bestimmten Momente fallen lassen zu können dient die Auslösung, welche (Fig. 122) besonders darstellt. Hieran sind aaa eben solche Gabelplatten wie sie eben für die Halterplatten beschrieben worden, s ist die (wegen des Hebels e nur zum Theil sichtbare) Schraube an dem Scalenstabe, die wie die vorigen, auf ein Druckplättchen wirkt; c ist eine horizontale Platte mit einem Einschnitt; sie läßt sich um eine Achse drehen, welche durch die mit Versicherungsmuttern versehenen Schrauben nn gebildet wird, indem die Spitzen dieser Schrauben in konische Vertiefungen eines an die Platte gelötheten, in der Figur nicht sichtbaren Messingkörpers eingreifen. Dieser Körper kann als ein vierseitiges Prisma angesehen werden, an dem die hintere Unterkante ganz, die vordere Unterkante im größeren Theil ihrer Länge rund gefeilt, um die Drehung an den ebenen Flächen der berührenden Körper zu ermöglichen, aber doch wieder einen sicheren Halt für die Platte in der horizontalen Lage zu sichern. Dicht unter diesem Körper ist der Hebel de, der in d um eine Schraube drehbar ist, weiterhin aber durch eine starke, auf dem kleinen Messingstück f aufsitzende Drahtfeder in die Höhe gehoben wird, so daß das vorhin beschriebene vierseitige Prisma dicht auf

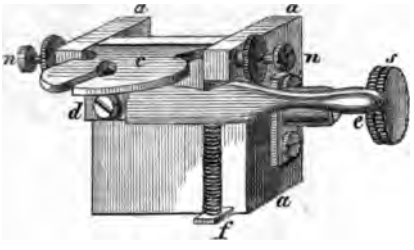


Fig. 122.

diesem Hebel aufsitzt. Ist dieses Instrument an den Scalenstab geschraubt und liegt die Platte c horizontal, so wird sie, wenn man den Hebel bei e herunterdrückt, durch ihr eigenes Gewicht fallen. Um so präciser wird sie mit dem Druck auf den Hebel gleichzeitig fallen, wenn noch ein schwerer Körper auf ihr liegt, wie es bei den folgenden Versuchen der Fall ist.

Zu den Fallversuchen bedarf man noch eines Zeitmessers; dazu dient ein Pendel, welches nahezu Secunden schlägt, und dessen Schläge leicht hörbar sind, damit man die Schwingungen zählen kann, ohne danach zu sehen. Eine Stahlstange op (Fig. 121.) trägt eine schwere verstellbare Linse L und wird mit einer prismatischen Achse aus hartem Stahl auf stählerne Unterlagen gelegt, welche auf dem in den Ständer der Maschine eingelassenen Arm m dauerhaft befestigt sind. Auf das obere Ende der Stange wird eine Gabel gelegt, deren Arme sich unten bei n,n gegen die Stange umbiegen und bei den Schwingungen des Pendels abwechselnd mit der einen und anderen Seite gegen die schmalen Kanten der Pendelstange schlagen, so daß man die Schläge hören und somit die Schwingungen nach dem Gehör zählen kann. Um nicht so viele Ständer, welche Raum wegnehmen, um sich zu haben, ist es am

besten, das Pendel am Ständer der Fallmaschine anzubringen wie es in unserer Figur geschehen.

Um jedoch das Pendel auch bei anderen Versuchen, wobei Zeitmessung nöthig ist, gebrauchen zu können, ohne die Fallmaschine herbeizubringen, habe ich mir einen Eisenstab machen lassen, der am einen Ende mit einer Hülse hh und Schraube C versehen ist (Fig. 123), um ihn an der Halterstange AB zu befestigen; am anderen Ende ist er gabelförmig gespalten, die beiden Arme c,d haben stählerne Lager ee, welche die prismatische Achse xy der Pendelstange aufnehmen; das Ganze ist überhaupt eben so eingerichtet, wie die Pendellager an der Fallmaschine.

Um nun die Versuche mit der Fallmaschine zu machen, wird der Ständer der Maschine mittelst der Fußschrauben vertical gestellt. Man erkennt die verticale Stellung am leichtesten, wenn man die durchbrochene Halterplatte etwas weit nach Unten an dem Scalenstab festschraubt, dann das vor der Scale hangende Gewicht in Bewegung setzt und zusieht, ob es mitten durch die Oeffnung der Platte falle; ist dies nicht der Fall, so muß durch die Fußschrauben nachgeholfen werden.

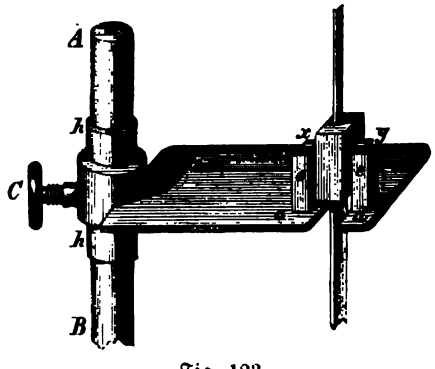


Fig. 123.

Wenn die beiden gleichen Gewichte an dem über die Rolle gezogenen Faden hangen, so werden sie einander das Gleichgewicht halten; damit das eine Gewicht falle, muß ihm ein kleines Zusatzgewicht aufgelegt werden; dieses Zusatzgewicht bildet die bewegende Kraft für die Masse der beiden Gewichte; es wird vermöge seiner Schwere sich selbst und beide Gewichte in Bewegung setzen. Wiegt jedes der gleichen Gewichte p gr., das Zusatzgewicht x gr., und soll dieses das ganze System von Körpern in der ersten Secunde durch n cm. bewegen, so ist die geleistete Arbeit $= n\,(2\,p + x)$; fällt aber das Gewicht x frei unter der Einwirkung der Schwere, so leistet es die Arbeit $g\,x$, wenn g der Fallraum der ersten Secunde beim freien Fall ist, also hat man:

$$n\,(2\,p + x) = g\,x,$$

$$\text{woraus } x = \frac{2\,n\,p}{490 - n} \text{ gr.},$$

weil $g = 490$ cm. Soll in der ersten Secunde 1 cm. zurückgelegt werden, so findet man

$$x = \frac{2\,p}{489} \text{ gr.}$$

Ist etwa $p = 244$ gr., so wird das Zusatzgewicht $x = \frac{488}{489}$ gr., für $n = 2^{cm.}$ aber $x = 2$ gr. u. s. w. Eigentlich muß zu $2p + x$ noch das halbe Gewicht der Rolle zugerechnet werden, oder man muß unter $2p$ das Gewicht beider bewegter Massen nebst dem halben Gewicht der Rolle verstehen.

Das Zusatzgewicht wird in zwei Formen hergestellt, einmal als rundes Scheibchen von demselben Durchmesser wie die cylindrischen Fallgewichte, mit einem bis zur Mitte geführten Ausschnitt (Fig. 124), dann als längliches Plättchen (Fig. 125); der Ausschnitt im ersteren nimmt den cylindrischen Griff des Fallgewichts in sich auf.

Vor Anfang des Versuchs wird das Gewicht auf die Platte c des Auslösungsapparates gesetzt. Zugleich setzt man das Pendel in Gang und legt auf das Gewicht die kreisförmige Platte auf, welche eine Beschleunigung von $1^{cm.}$ in der Secunde erzeugt. Will man den Fallraum in einer gewissen Secundenzahl bestimmen, so muß man denselben nach dem bekanten Gesetz $s = g.t^2$ berechnen und die volle Halterplatte an die betreffende Stelle der Scale schrauben, z. B. für 5 Sec. bei $25^{cm.}$, für 6 Sec. bei $36^{cm.}$ u. s. w. Um die Auslösung genau gleichzeitig mit einem Pendelschlage zu bewirken, zähle man erst einige Pendelschläge, um sich an den Tact zu gewöhnen, spreche aber bei jedem dieser Schläge „Null." Bei einem solchen Pendelschlag, dessen Zeitpunkt man schon nach dem gewonnenen Taktmaß treffen wird, ohne erst den hörbaren Schlag abzuwarten, schlage man mit

Fig. 124.

Fig. 125.

dem Finger auf den Hebel des Auslösungsapparates, während man wieder „Null" zählt; dieser Schlag des Fingers muß mit einem Pendelschlag genau gleichzeitig geschehen. Das Gewicht fällt nun; man zähle die Pendelschläge während des Falles und sehe zu, ob das Gewicht bei dem bestimmten Schlage auf der Halterplatte auftrifft. Ist man überzeugt, daß Alles mit der nöthigen Vorsicht ausgeführt worden, und trifft das Gewicht doch nicht mit dem betreffenden Pendelschlag auf die Platte (es wird gewöhnlich zu spät aufschlagen), so wird der Fehler durch die Reibung der Radzapfen in ihren Lagern hervorgebracht sein. Man kann diese Reibung gewöhnlich noch etwas vermindern, wenn man die eine der Schrauben in welche die Achse eingreift, etwas löst; allein ganz läßt sich der Fehler dadurch nicht heben; wenn nämlich die Spitzen der Achsenzapfen auf den schiefen Mantelflächen der Hohlkegel aufliegen, und nicht etwa die Spitzen

der Kegel berühren, so hilft das Lösen der Schraube gar nichts. Um die noch zurückbleibende Reibung zu heben, wird man auf das Fallgewicht noch ein kleines Gewichtchen auflegen müssen. Man kann dazu ein kleines Metallgewicht nehmen; aber solches wird beim Versuche, wenn das Gewicht unten aufstößt, meist herunterfallen und muß dann gesucht werden; besser ist es, ein Stückchen Wachs fest anzudrücken. Natürlich muß man solches Gewichtchen durch wiederholte Versuche genau ausprobiren und so lange abändern, bis der Versuch genau stimmt.

Statt zur Correctur ein Zusatzgewicht anzuwenden, könnte man auch das Pendel verändern. Veranlaßt nämlich die Reibung eine Störung, so verzögert sie den Fall; damit das Auftreffen des Körpers mit dem betreffenden Pendelschlage zusammenfalle, wird man die Schwingungen verzögern, die Pendellänge vergrößern, also die Linse tiefer schrauben müssen. Es ist in der That auch ziemlich gleichgültig, ob man genau nach Secunden zähle, oder nach etwas längeren oder kürzeren Zeittheilen; die Fallgesetze bleiben dieselben; es hat dies nur Einfluß auf die Berechnung des Zusatzgewichtes.

Zuweilen ist es nöthig, die Pfannen, in welchen sich die Spitzen der Radachsen drehen, zu reinigen und mit etwas Knochenöl zu versehen. Hat man ein Zusatzgewicht, bei dem der fallende Körper in der ersten Secunde $2^{cm.}$ zurückgelegt, so legt er in 2 Sec. 4.2 oder 8, in 3 Sec. 9.2 oder $18^{cm.}$ zurück. Versuche mit kleinen Fallzeiten fallen gewöhnlich nicht genau aus, weil die Reibung bei der anfangenden Bewegung etwas größer ist als während der dauernden Bewegung, und dann mehr Einfluß hat, wenn die Bewegung überhaupt nur kurze Zeit dauert, als wenn sie lange dauert. Man sollte keinen Versuch unter 4 oder 5 Sec. dauern lassen.

Diese Versuche geben die Fallräume in den von Anfang der Bewegung an verflossenen Zeiten. Will man die Fallräume in den einzelnen Secunden erfahren, so müssen diese aus denen der ganzen Zeiten berechnet werden. Z. B. in 10 Sec. lege der Körper $100^{cm.}$ zurück, in 9 Sec. 81; also legt er in der 10. Sec. $100-81=19^{cm.}$ zurück; 19 ist auch die zehnte ungerade Zahl.

Es bleibt noch übrig, das Gesetz der Endgeschwindigkeiten durch den Versuch zu constatiren. Hierzu legt man auf das Fallgewicht das längliche Plättchen (Fig. 125.) als Zusatzgewicht, die beiden Halterplatten werden einem bestimmten Versuche entsprechend angebracht; z. B. man wolle das Fallgewicht 4 Sec. beschleunigt und 3 Sec. mit der dabei erlangten Endgeschwindigkeit fallen lassen, während die Beschleunigung $1^{cm.}$ in der Sec. beträgt, so wird das Gewicht $16^{cm.}$ mit beschleunigter und dann noch $3.8=24^{cm.}$ mit constanter Geschwindigkeit zurücklegen; man wird also die durchbrochene Platte bei 16, die volle bei $40^{cm.}$ anzuschrauben haben Hierbei ist indeß auf Folgendes wohl zu achten. Gesetzt, es werde die Halterplatte der Auslösung auf Null der Scale gestellt, so liegt das Zusatzgewichtchen um die Höhe des

Fallgewichts höher; die beschleunigte Bewegung dauert aber bis das Plättchen durch die durchbrochene Platte abgehoben wird; man wird also entweder diese um die Höhe des Fallgewichts höher, oder, was besser ist, die Halterplatte der Auslösung um ebenso viel tiefer anbringen müssen, so daß das Uebergewichtsplättchen auf den Nullpunkt zu stehen kommt; die durchbrochene Platte kommt dann in unserem Beispiel auf 16 zu stehen. Soll nun das Gewicht noch 24 cm. mit constanter Geschwindigkeit zurücklegen, so müssen, weil das Gewicht zuletzt mit seiner Unterfläche auf der Halterplatte auffchlägt, diese aber um die Höhe des Gewichts unter dem Scalenstrich 16 steht, für die Distanz der beiden Platten 24 cm. plus die Höhe des Gewichts gerechnet werden. Es ist daher zweckmäßig, dem Fallgewicht eine Höhe zu geben, die einer ganzen Anzahl Centimeter (resp. Zoll, wenn die Scale Zoll angiebt) gleich kommt. Im Uebrigen hat man bei diesem Versuche gerade so zu verfahren, wie beim ersten, aber beim Zählen der Pendelschläge darauf zu achten, ob das Zusatzgewicht genau mit dem betreffenden Pendelschlag abgehoben und das Fallgewicht mit dem für das Auftreffen berechneten die unterste Platte erreicht.

Fallversuche auf der schiefen Ebene anzustellen wird nicht nöthig sein; sollten solche Versuche einigermaßen genügend ausfallen, so müßte man eine schiefe Ebene von gar zu großer Ausdehnung anwenden; Galilei hatte sie von 4 m. Länge.

2. Centralbewegung.

Die Centrifugal- oder Schwungmaschine dient zu Versuchen über die Fliehkraft bei kreisförmiger Bahn; man kann sich ihrer jedoch

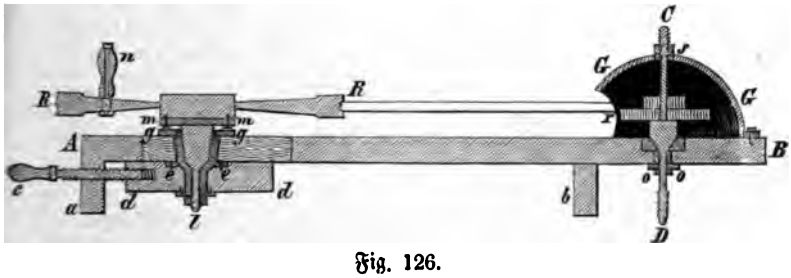


Fig. 126.

auch in vielen anderen Fällen, wo eine schnelle rotirende Bewegung erzeugt werden soll, bedienen. Man wird daher alle Sorgfalt auf ihren Bau verwenden, um sie solide und zweckmäßig herzustellen. Ich construire diese Maschine jetzt in folgender Weise. (Fig. 126) stellt einen Durchschnitt des Ganzen, (Fig. 127) eines Theils derselben in größerem Maßstabe vor *). Das Fußbrett AB (Fig. 126) von etwa

*) Im 3. Theil meines Lehrbuchs der Physik, 1. Auflage, beschrieb ich be-

5 dm. Länge und 2,5 dm. Breite hat zwei Querleisten a, b, welche ihm als Füße dienen; b jedoch ist etwa 12 cm. vom Ende B angebracht. Durch den Fuß a wird eine Holzschraube mit Griff c geführt, die sich in ein Holzstück dd einschraubt, welches an der unteren Seite des Fußbrettes AB in Falzen verschiebbar ist und mittelst der Schraube c um einige Centimeter vor- und rückwärts bewegt werden kann. Es heißt der Schlitten der Maschine. An dieser Stelle erhält das Fußbrett einen länglichen,

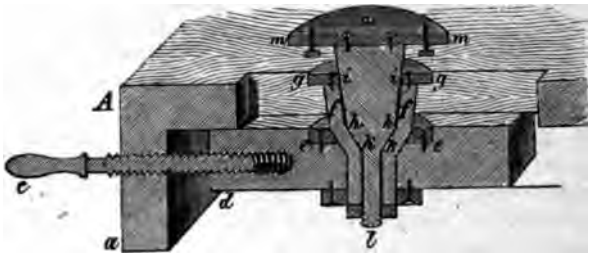


Fig. 127.

mit den längeren Seiten parallelen Einschnitt. Durch diesen Einschnitt wird eine gußeiserne, konisch ausgedrehte Büchse geführt und im Schlitten dd dauerhaft befestigt. Ein an die Büchse ff (Fig. 127) angegossener Ring ee dient dazu, dieselbe in den Schlitten dd einzulassen und an ihn festzuschrauben; eben solchen Ring gg hat die Büchse an ihrem oberen Ende, womit sie auf dem Fußbrett AB aufliegt, aber nicht fest geschraubt wird, damit sie mit dem Schlitten dd der Länge nach etwas verschoben werden kann. Die innere Höhlung der Büchse hat die Form der Figur, ist aber in (Fig. 127) größer gezeichnet. Diese Büchse hat die eben so geformte stählerne Achse aufzunehmen, welche übrigens nur in der Zone hk des Kegelmantels, der hier etwas stärker geneigt ist, auf dem hohlen Mantel der Büchse aufliegen darf, während sie zwischen h und i, und zwischen k und l sich ohne Reibung und lose darin bewegt. Die Achse trägt oben die kreisförmige Platte mm, die ringsum

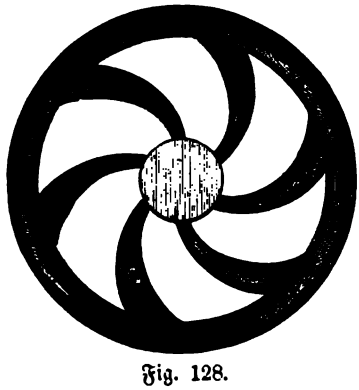


Fig. 128.

reits 1840 die Schwungmaschine nach demselben Princip, abweichend von allen, die bis zu jener Zeit gebaut worden waren. Ich habe sie seitdem durch dauerhafteren Bau verbessert.

1—1,5 cm. über die Achse vorragt und durch drei Schrauben an die obere Fläche dieser letzteren befestigt ist. Durch mehrere Schrauben im Rande wird die Platte, und damit die Achse selbst an das Mittelstück eines eisernen Rades RR (Fig. 126) von 32—36 cm. Durchmesser befestigt; das Rad ist im Grundriß durch (Fig. 128) vorgestellt. Das Hauptgewicht des Rades ist in die Peripherie desselben verlegt; das massive Mittelstück des Rades hat nur 2,5 cm. Durchmesser, die Metalldicke des Radkranzes beträgt 1, die Höhe 4 cm.; der Radkranz ist durch 6 nach Außen zu an Stärke zunehmende Speichen mit dem Centralkörper verbunden. In den äußeren Cylindermantel des Radkranzes sind zwei Schnurläufe eingedreht. Etwa in der Mitte einer Speiche ist ein Griff n aufgesetzt, womit das Rad durch die Hand gedreht werden kann. Dieser Griff besteht aus einem 7—8 cm. langen, 0,5 cm. dicken Eisenstab, der mit dem einen Ende in die Speiche eingesetzt und durch eine Mutter von Unten festgehalten wird; damit sich der Stab in der Speiche nicht dreht, ist er an dieser Stelle, so wie das Loch in der Speiche, viereckig. Ueber den Stab wird ein Holzgriff gesetzt, dieser durch eine auf den Stab geschraubte Mutter so fest gehalten, daß er nicht vom Stabe abgehoben, jedoch um diesen sich frei drehen kann; auf den Holzgriff schraubt man endlich eine hölzerne Kappe, welche dem ganzen Griff die Gestalt eines Heftes giebt. Beim Drehen des Rades bleibt der Griff fest in der Hand, die Metallstange dreht sich in ihm herum.

Gegen das andere Ende des Brettes AB (Fig. 126) hin, außerhalb des Fußes b, wird ebenfalls eine verticale Achse CD durch dasselbe geführt; sie hat dieselbe Form wie die Radachse, aber statt der Büchse ist eine Platte in das Fußbrett AB eingelassen, welche den mittleren, stark geneigten Kegel aufnimmt; der untere, cylindrische Theil geht frei durch ein in die Bohrung gesetztes Metallfutter hindurch und endigt in eine Schraube D, an welche verschiedene Stücke angeschraubt werden können, die an geeigneten Orten werden beschrieben werden. Oberhalb dieser Schraube bei oo (Fig. 126) ist noch eine andere etwas dickere Schraube auf den Stab geschnitten, auf diese setzt man eine Mutter, welche das Heben der Achse verhindert, aber doch nicht an das Futter anstreift, damit hier keine Reibung entsteht. Nach Oben hin wird auf die Achse eine Rolle r mit doppeltem Schnurlauf so aufgesetzt, daß je eine Rinne mit einer Rinne des Rades RR in dieselbe Horizontale fällt. Der eine Schnurlauf dieser Rolle hat 8 cm., der andere nur höchstens 4 cm. Durchmesser. Da das Rad 32 cm. Durchmesser hat, so wird die Geschwindigkeit der rotirenden Bewegung der Rolle 4, resp. 8 Mal so groß sein als die des Rades, je nachdem man den einen oder den anderen Schnurlauf der Rolle benutzt. Die Achse der Rolle muß nun noch eine Führung bekommen. Diese bewirke ich durch eine auf das Fußbrett der Maschine ringsum durch mehrere Schrauben befestigte Glocke GG von Gußeisen, die nur an der Seite gegen das Rad RR hin offen ist, um die vom Rade herkommende Schnur (Saite)

ohne Ende zur Rolle r gelangen zu lassen. Oben hat die Glocke eine Oeffnung, gerade so groß, daß die Achse sich ohne Reibung darin drehen kann. Die Glocke GG liegt rings um auf dem Fußbrett AB mit vorstehendem Rande auf und wird durch sechs starke Schrauben an dieses befestigt. Nachdem die Glocke aufgesetzt, wird die Mutter s auf die Achse geschraubt, welche oben eben abgedreht ist. Die auf die Schraube C gesetzten Gegenstände werden fest gegen die Mutter s gedrückt, wodurch sie festen Halt gewinnen. Die um das Rad und die Rolle geschlungene Schnur ohne Ende besteht aus einer 5 mm. dicken Darmsaite, deren Enden gerade so, wie bei der Drehbank, durch zwei stählerne Haken mit einander verbunden werden; diese Haken haben nach dem anderen Ende hin kleine Röhrchen, in die Schrauben geschnitten sind, in welche die Enden der Saite eingeschraubt werden. Um die Saite aufzuspannen, wird die Schraube c gelöst, Rolle und Rad werden einander etwas genähert, die Saite in die Schnurläufe gebracht, geschlossen und gestreckt, indem man die Schraube c wieder anzieht. Der Einschnitt im Fußbrett AB muß der Radachse so viel Spielraum bieten, als der eine Schnurlauf der Rolle eine größere Schnurlänge erfordert als der andere.

Fig. 129.

Um unten an die Achse bei D verschiedene Gegenstände anbringen zu können, lasse man noch eine messingene Büchse wie (Fig. 129) machen, die sich auf D aufschrauben läßt und nach Unten eine Mutterschraube hat, in welche die anzubringenden Gegenstände eingeschraubt werden. Für die an Fäden oder Schnüre zu hängenden Dinge wird der Haken (Fig. 130) eingesetzt.

Fig. 130.

Die bisher in den Lehrbüchern beschriebenen Constructionen der Schwungmaschine, so weit sie nicht der meinigen nachgemacht waren, entsprachen den Anforderungen sehr wenig, so daß sie zu den meisten Versuchen völlig untauglich sein mußten. Ich habe hier meine frühere Construction auch noch wesentlich verbessert, da die frühere den in Rotation versetzten Körpern noch ein Schwanken gestattete, das bei der jetzigen Bauart unmöglich ist. Zugleich bietet die jetzige Form der Achsen eine sanfte Bewegung mit der geringst möglichen Reibung, wenn man nur die aufliegenden Theile der Achsen mit etwas Knochenöl befeuchtet. Die Maschine wird nun auch zu allen anderen Versuchen ausreichen, wo man eine schnell rotirende Bewegung nöthig hat, wenigstens wenn die geforderte Geschwindigkeit 800 Umdrehungen in der Minute nicht übersteigt.

Nebenapparate zur Schwungmaschine.

a) Eine ebene Scheibe, welche horizontal auf die Achse geschraubt wird, ist auf ihrer oberen Fläche mit mehreren flachen Vertiefungen versehen, in welche kleine hölzerne Kugeln gelegt werden, welche beim Umdrehen in der Tangente fortfliegen, nur die in der Mitte bleibt liegen; je weiter eine Kugel vom Centrum ist, desto eher geräth sie in Bewegung.

b) Mehrere dünne, biegsame Messingstreifen (Fig. 131) sind am unteren Theile einer verticalen Achse ab befestigt, während die anderen Enden der von ihnen gebildeten Bogen oben in einem Ringe stecken, durch welche die Achse lose hindurchgeht. Mit der Büchse a, an welcher die Metallstreifen unten befestigt sind, läßt sich der Apparat auf die Achse der Schwungmaschine schrauben. Dreht man die Vorrichtung schnell herum, so senkt sich der Ring und das Ganze nimmt eine sphäroidische Gestalt an, indem die Streifen, vermöge der Centrifugalkraft, seitwärts ausbiegen. Der Versuch versinnlicht die Abplattung der Erde, die gleichfalls, als diese weich oder gar flüssig war, durch die aus der Rotation hervorgehende Centrifugalkraft entstanden ist.

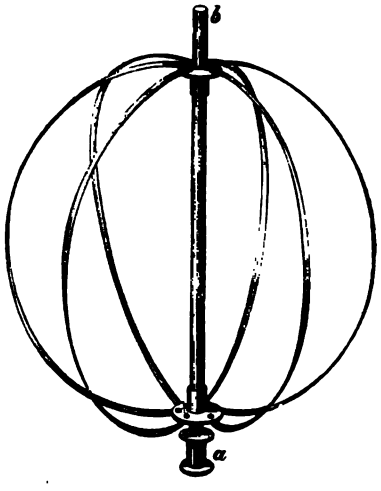


Fig. 131.

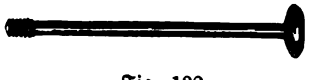


Fig. 132.

c) Aus Brennspiritus und Wasser mische man eine Flüssigkeit so, daß ein Oeltropfen darin schwebt, bringe dann einen $2^{cm.}$ Durchmesser haltenden Oeltropfen darin hervor und stelle das offene Gefäß unter das untere Ende der Centralachse der Schwungmaschine. An diese Achse schraube man einen Messingstift, der unten ein flaches horizontales Scheibchen von $7—8^{mm.}$ Durchmesser trägt (Fig. 132), richte dieses gerade in die Mitte des Tropfens und drehe es mäßig herum. Der Tropfen wird auch in Rotation gerathen, sich verflachen und das Bestreben zeigen, sich von der Drehachse zu entfernen. Beschleunigt man die Bewegung, so trennt sich ein Theil des Tropfens ab und bildet einen concentrischen Ring um das Uebrige herum.

Wie man den Tropfen möglichst groß erhalten kann, wird weiter unten bei der Behandlung der Molecularkräfte der Flüssigkeiten gezeigt werden. Um das erwähnte Stäbchen an der Achse anzubringen, schraube

man die Hülse (Fig. 129) auf das untere Ende der Achse, in diese Hülse läßt sich dann das Stäbchen einschrauben. Es muß aber die Hülse sehr genau in der geometrischen Achse der Drehachse gebohrt werden: denn die geringste Abweichung bewirkt ein Schwanken des Stäbchens bei der Drehung und dadurch ein Mißlingen des Versuchs. Um das Scheibchen in den Oeltropfen hineinzuführen, ohne ihn zu zerstören, benetze man es vorher mit demselben Oel.

Fig. 133.

d) Ein cylindrisches Glasgefäß (Fig. 133) wird am Boden mit einer messingenen Fassung versehen, an deren unterer Fläche ein Körper angelöthet ist, in den man die zur Achse der Schwungmaschine passende Schraube geschnitten hat. Man schraubt das Gefäß auf die Achse der Schwungmaschine, füllt es etwa zu $^1/_3$ der Höhe mit Wasser und dreht es herum; das Wasser steigt dann an den Wandungen in die Höhe und bildet in der Mitte einen hohlen Kegel oder Trichter.

e) Eine hohle Glaskugel (Fig. 134) ist an ihrer Oeffnung mit einer Fassung versehen; die Fassung kann durch eine Schraube geschlossen werden, in die eine innere Schraube geschnitten ist, womit die Kugel auf die Schwungmaschine aufgesetzt werden kann. Während bei den bisherigen Apparaten die Fassungen auch die Schraube zum Anbringen auf der Maschine enthielten, muß hier eine besondere Hülse aufgesetzt werden, welche einerseits den Verschluß bewirkt, andererseits die Mutter für die Drehachse der Maschine enthält. Man gieße in die Kugel Quecksilber, Wasser und Oel, jedoch dürfen alle drei Flüssigkeiten noch nicht ganz die Hälfte des inneren Raumes einnehmen. Beim Drehen wird das Quecksilber den mittleren Theil der Kugel einnehmen, wo diese am weitesten ist, die anderen Flüssigkeiten werden sich theils darüber, theils darunter lagern. Das Quecksilber, als schwerster Körper, hat das Bestreben, sich am weitesten von der Drehachse zu entfernen. Da das Oel das Innere des Gefäßes fettig macht und die Reinigung beschwerlich ist, so kann man den Versuch auch sehr wohl mit Quecksilber und Wasser anstellen.

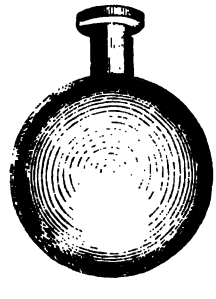


Fig. 134.

f) In einen Holzrahmen ABCD (Fig. 135) werden zwei Glasröhren mn,pq in folgender Weise angebracht. Die Röhren sind bei m und p geschlossen, an den Enden n und q offen und können hier durch Korke geschlossen werden. In der oberen Hälfte haben die Röhren je einen Messingring, in welche kleine Hohlkegel ein-

gebohrt sind, um die in den Doppelständern bei A und D befindlichen Stifte aufzunehmen, wodurch die Röhren in der Lage, welche die Figur zeigt, erhalten werden. Die unteren Enden n,q der Röhren stecken in einem Holzkästchen, dessen Deckel an der Vorder- und Hinterseite je eine Drahtöhse hat, welche in den Kasten hineinreicht; durch diese Oehsen wird ein an der Hinterwand mit einem Kopf versehener Draht durchgesteckt und an der Vorderwand durch eine Schraube festgehalten. Daß die betreffenden Wandflächen Einschnitte zur Aufnahme der Röhren haben ist selbstverständlich. An den Rahmen ist in der Mitte des horizontalen Theils die Hülse a angeschraubt, die sich mit ihrer Hohlschraube auf die Spindel der Centrifugalmaschine schrauben läßt.

Um hiemit einen Versuch anzustellen werden die Röhren unten frei gemacht, und um ihre Drehachsen bei A und D gedreht, so daß die Oeffnungen n,q nach Oben zu liegen kommen; in die eine Röhre gießt man etwas Quecksilber und Wasser, in die andere legt man ein kleines abgedrehtes Kügelchen von Holz, Thon ꝛc., verschließt beide fest

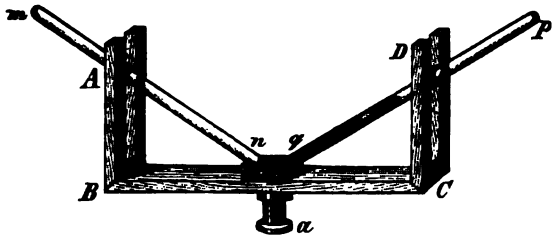


Fig. 135.

durch Korke und bringt sie in die Lage der Figur. Wird der Apparat dann auf die Schwungmaschine gesetzt und herumgedreht, so steigen die in den Röhren enthaltenen Körper nach den oberen Enden der Röhren, und zwar das schwerere Quecksilber über das Wasser.

Man ließ früher die unteren Enden der Röhren frei; wenn dann das Quecksilber nach dem oberen Theil gestiegen war, drückte es da die Röhre herunter, die Röhre schlug um, der Theil, der erst nach Innen gekehrt war, wendete sich nach Außen. Mochte nun die das Quecksilber enthaltende Röhre bei n oder q durch einen Kork verschlossen sein, so drückte jedenfalls das Quecksilber, entweder vor oder nach dem Umkehren gewaltsam gegen den Kork und verschaffte sich einen Ausweg, entweder indem es den Kork hinausstieß, oder, wenn es dies nicht vermochte, durch die Poren des Korkes in feinen Strahlen entwich. Daß bei unserer Aenderung des Apparates das Umkehren der Röhren wegfällt ist wohl kein großer Verlust.

g) In einem hölzernen Rahmen AB (Fig. 136) wird durch die zwei parallelen Arme ein 2^{mm} dicker Messingdraht gesteckt, auf dem zwei Messingkugeln, die diametral durchbohrt sind, sich leicht bewegen

lassen. Der Draht wird von Außen durch Muttern festgehalten. Die Kugeln sind an Größe und Gewicht ungleich, verhalten sich etwa wie 1 : 2 (es ist gut, das Verhältniß ihrer Massen zu kennen); sie sind mit

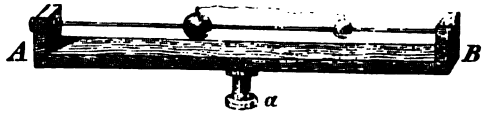


Fig. 136.

Häkchen versehen und werden in einiger Entfernung von einander durch einen Faden verbunden. Mittelst der Hülse a wird der Rahmen auf die Centrifugalmaschine aufgesetzt. Haben sie eine solche Lage, daß sich ihre Abstände von der verticalen Drehachse umgekehrt wie ihre Massen verhalten, oder, was dasselbe ist, daß ihre statischen Momente in Bezug auf die Drehachse einander gleich sind, so bewegen sie sich bei der

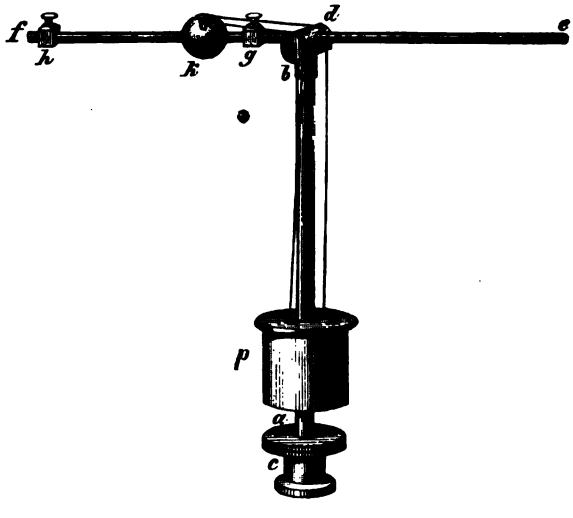


Fig. 137.

Drehung der Achse nicht aus der Stelle; bei jeder anderen Lage fliegen die Kugeln nach der Seite hin, wo das größere Moment ist. Ist das Verhältniß der Massen durch eingestempelte Ziffern auf den Kugeln angegeben und der Draht von der Mitte aus nach beiden Seiten in gleiche Theile getheilt, so läßt sich das Gesetz sehr deutlich machen. Giebt man sich die Mühe die Umdrehungsgeschwindigkeit des Rades zu ermitteln, daraus und aus den Abständen der Kugeln vom Centrum

die Geschwindigkeiten derselben, aus diesen und den Massen die Centrifugalkräfte zu berechnen, so giebt der Unterschied dieser letzteren die Kraft, mit welcher die Kugeln sich nach der einen Seite bewegen.

h) Ein gerader Stab ab (Fig. 137) ist am einen Ende mit einer Hülse c versehen, welche sich auf die Centrifugalmaschine aufschrauben läßt; ein größeres, cylindrisches Gewicht p ist nach seiner Achse so durchbohrt, daß es sich auf den Stab aufstecken läßt und auf diesem leicht verschoben werden kann; am oberen Ende trägt der Stab einen cylindrischen Messingkörper d, an den an jeder Seite eine Rolle mit Schnurlauf angebracht ist. Durch diesen Cylinder ist ein Stab ef geführt, der zum ersten ab senkrecht steht, also, wenn jener auf die Achse der Maschine geschraubt ist, eine horizontale Lage hat; auf der einen Seite dieses Stabes sind zwei Hülsen g, h angebracht, die an beliebiger Stelle festgeschraubt werden können; zwischen diesen ist eine verschiebbare Kugel k mit zwei einander diametral gegenüberstehenden Knöpfchen; von dem Gewichte führen zwei Fäden über die Rollen zu diesen Knöpfchen und sind hier befestigt. Bei der Drehung der Maschinenachse wird die Kugel k durch die Centrifugalkraft vom Centrum fortgetrieben, muß aber dabei das Gewicht p heben. Man sollte sich das Gewicht dieses Körpers vom Verfertiger angeben lassen, oder der Apparat müßte so eingerichtet sein, daß man dasselbe abnehmen und selbst wägen könnte. Bestimmt man dann alle zur Berechnung der Centrifugalkraft nöthigen Größen, berechnet jene aus diesen, so kann man dadurch das theoretische Gesetz experimentell bestätigt finden, muß jedoch wegen der Reibung Etwas in Abzug bringen.

i) Das Centrifugalpendel oder der Regulator der Dampfmaschine (Fig. 138), mittelst der Hülse h auf die Achse der Maschine geschraubt und in Drehung versetzt, liefert ein sehr schönes Beispiel der Centrifugalkraft; bei der Drehung entfernen sich die Kugeln a, b von der Drehachse, dadurch werden die Gelenke c, c gehoben, indem die Stangen, welche die Kugeln tragen, sich um die Gewinde ee drehen; sie müssen also den auf der verticalen Stange f verschiebbaren Körper d mit in die Höhe ziehen; dieser hat aber ein merkliches Gewicht, also wird auch hier die Schwere durch die Centrifugalkraft aufgehoben.

Fig. 138.

k) An die nach Unten gekehrte Schraube der Maschinenachse wird die Hülse (Fig. 129) angeschraubt, in diese von Unten das Häkchen (Fig. 130) eingesetzt; an dieses Häkchen hängt man mittelst eines Fadens 1) eine kreisrunde Scheibe von Metall, an der der Faden an

einem Punkte nahe der Peripherie befestigt ist; oder 2) einen an den Faden gebundenen Metallring (Fig. 139); oder 3) ein Metallstäbchen (Fig. 140), das mit dem einen Ende an den Faden gebunden ist; oder 4) eine zum Ring geschlossene Kette. Alle diese Körper, die in Ruhe senkrecht herabhängen, werden, sobald sie in Drehung versetzt sind, in horizontaler Lage rotiren; die Kette öffnet sich zum Ring und der Faden beschreibt in allen Fällen einen senkrechten Kegelmantel (Fig. 139). Auch in (Fig. 141), welche den rotirenden Stab (Fig. 140) vorstellt, sieht man den von dem Faden beschriebenen Kegelmantel und in der Mitte eine glänzende Kugelform.

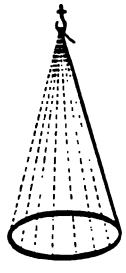


Fig. 139.

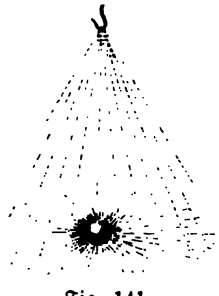


Fig. 141.

Fig. 140.

Fig. 142.

1) An das Häkchen unten an der Achse der Schwungmaschine hänge man einen seidenen Faden, an dessen anderem Ende eine Messingkugel befestigt ist; die Maschine steht, wie gewöhnlich, auf dem Tische und das Pendel wird so lang gemacht, daß die Kugel fast auf den Fußboden reicht; um jede Erschütterung zu vermeiden, wird die Maschine mit einer Schraubzwinge am Tisch befestigt. Man setze dann das Pendel in Schwingung und bezeichne auf dem Fußboden mit Kreide seine Schwingungsebene; nun setze man die Maschine in langsame Drehung, so wird das Pendel nichtsdestoweniger in seiner ursprünglichen Schwingungsebene verharren. Um indeß nicht durch die Aufhängung Grund zu Abweichungen zu geben, sollte man den Faden durch einen ganz engen

Canal in dem an die Achse geschraubten Knopfe ziehen und oberhalb durch einen Knoten versichern.

Wenn die Centralbewegung nicht kreisförmig ist, so geht sie doch in einem Kegelschnitt vor sich. Um eine Anschauung der Kegelschnittscurven zu geben, verschaffe man sich einen Doppelkegel wie (Fig. 142), an welchem die Schnitte ausgeführt sind, welche Ellipse, Parabel und Hyperbel geben. Man bekommt diese Kegel jetzt zu kaufen. Der Deutlichkeit halber ist an Fig. 142 nur die Hyperbel gezeigt, nämlich a b c a′ b′ c′; die Ellipse a b c d zeigt Fig. 143, die Parabel a b c Fig. 144.

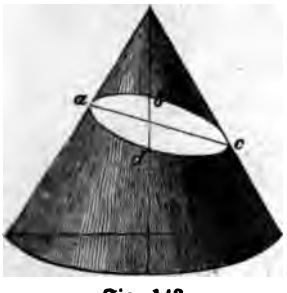


Fig. 143.

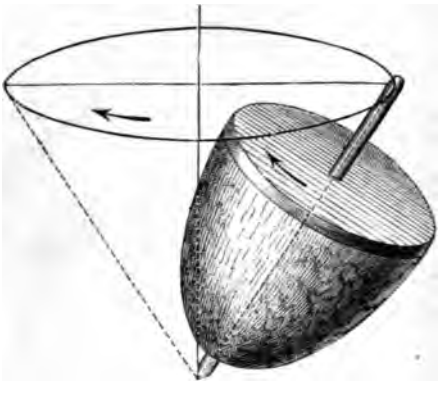


Fig. 145.

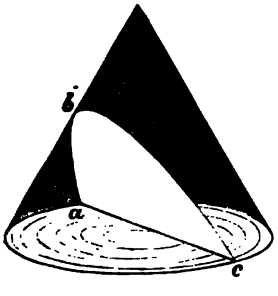


Fig. 144.

Fig. 146.

3. Freie Achsen.

a) Mit den Apparaten, welche die Erscheinungen der Centrifugalkräfte zu zeigen bestimmt sind, stehen in nächster Beziehung diejenigen, an welchen die Eigenschaften freier Achsen nachgewiesen werden. Dahin gehört zunächst der Kreisel, der durch eine aufgewickelte Schnur, die rasch abgezogen wird, seine drehende Bewegung bekommt (Fig. 145); (Fig. 146) stellt den Griff vor, mit dem man den Kreisel beim Abziehen der Schnur hält; man steckt die Achse des Kreisels in die Einschnitte a a so, daß die aufgewickelte Schnur zwischen die beiden Backen b b zu

liegen kommt, und setzt den Daumen vor die Oeffnung bis die Schnur ganz herunter gezogen ist. Wenn man versucht, der Achse des Kreisels eine andere Richtung zu geben, so findet man einen großen Widerstand gegen jede Verschiebung, auch fällt der Kreisel nicht um, mag seine Achse noch so schief stehen, so lange er noch eine ziemlich große Geschwindigkeit besitzt. Steht die Achse schief, so beschreibt sie einen Kegelmantel, und zwar legt sie diesen in derselben Richtung zurück, in welcher sich der Kreisel selbst dreht, beide Bewegungen geschehen entweder nach Rechts, oder beide nach Links.

Fig. 147.

b) Bohnenberger's Maschine (Fig. 147) besteht aus drei senkrecht gegen einander beweglichen Ringen; der äußerste ist auf dem Stativ fest, zwei einander gegenüberstehende Spitzen dienen als Drehungsachse für den nächstfolgenden; dieser hat, 90^0 von den Pfannen des vorigen abstehend, wieder zwei nach Innen gekehrte Spitzen, welche die Rotationsachse für den dritten Kreis bilden; in den dritten Kreis greifen die Endspitzen der Achse einer Kugel ein. Man nennt dies die Cardan'sche Aufhängung. Um diese Achse wird eine Schnur geschlungen und, wie beim Kreisel, schnell abgezogen. Die Kugel rotirt dann mit immer gleichbleibender Achsenrichtung, wie man auch das ganze Instrument bewegen mag; man kann es im Zimmer herumtragen, oder auf die Schwungmaschine aufsetzen und diese drehen, die Achse bleibt stets in derselben Richtung. Gerade so kann man einen Ring, ein Geldstück u. dgl. auf dem Tisch in schnelle Rotation versetzen, ohne

daß sie fallen, während sie ruhend nicht stehen bleiben. Die Achsen der Weltkörper behalten ebenfalls stets ihre Richtung bei.

c) **Fessel's Gyroskop** (Fig. 148) besteht aus einer messingenen Scheibe a mit einem dicken Wulst am Umfange; die Scheibe a dreht sich entweder in einem einfachen Ring b b oder auch, wie die Bohnenbergersche Maschine, in einem Doppelring. Wir haben hier den einfacheren Apparat gewählt. Der äußere Ring ist an einem Stabe c befestigt, der sich um eine in der Gabel d angebrachte horizontale Achse drehen läßt. An der Gabel befindet sich das Stäbchen e, das vertical in das Stativ s gesteckt wird, worin es frei herumgedreht werden kann. Auf den Stab c ist mittelst einer Bohrung das verschiebbare Gewicht g aufgesetzt; dieses Gewicht kann auf dem Stabe c entweder so gestellt werden, daß es der Scheibe a mit Zubehör das Gleichgewicht hält, oder daß es über die Scheibe das Uebergewicht erlangt, oder daß die Scheibe a das Uebergewicht bekommt. In jeder dieser Lagen wird es mit der Schraube v auf dem Stabe befestigt. Soll nun die Scheibe a in Ro-

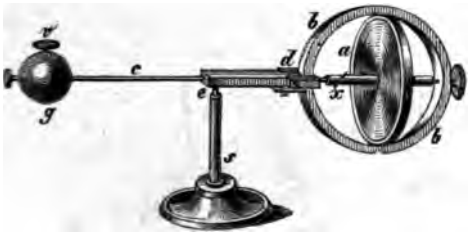


Fig. 148.

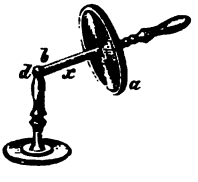


Fig. 149.

tation versetzt werden, so wickelt man einen Faden um ihre Achse, faßt den äußeren Ring mit zwei Fingern und zieht den Faden rasch ab. Bei dieser Rotation bemerkt man nun zunächst, daß die Scheibe mit ihren Ringen, welche sich in der Gabel d frei drehen können, entweder in derselben Lage bleibt, welche man ihr beim Abziehen des Fadens gegeben, oder, wenn die Rotation mit ausreichender Geschwindigkeit vor sich geht, sich in der Verticalebene hebt, wenn sie über das Gewicht g das Uebergewicht hat. Bei der Gleichgewichtslage des Stabes behält er sowohl, wie die Achse der Scheibe beharrlich die anfängliche Lage bei. Außerdem aber dreht sich der Apparat um die verticale Achse e, und zwar, wenn die Scheibe a das Uebergewicht über das Gewicht g hat, in einer Richtung, welche der der rotirenden Scheibe entgegengesetzt ist, dagegen in derselben Richtung mit dieser, wenn das Gewicht g das Uebergewicht hat; die Drehung unterbleibt, wenn das Gewicht g und die Scheibe a einander das Gleichgewicht halten.

d) **Foucault's Gyroskop.** Der Apparat ist nach dem Vorigen

aus der Fig. 149 erkenntlich, nur mag erwähnt werden, daß das Stativ oben in eine Spitze d endigt, in der sich eine kleine Vertiefung befindet. Die Achse x der Scheibe a trägt bei b ein kleines Kügelchen. Setzt man die Scheibe a durch einen von ihrer Achse schnell abgezogenen Faden in Rotation und legt b in die Vertiefung der Spitze d, so sinkt der Apparat nicht herunter, so lange er hinreichende Geschwindigkeit hat; er hebt sich bei sehr rascher Drehung sogar etwas in die Höhe, und ebenso, wie bei den vorigen Apparaten, widersteht die Achse einem Versuche, durch dagegen gerichtete Stöße ihre Lage zu verändern.

e) Die Beharrlichkeit, mit der rotirende Körper mit freier Achse ihre Achsenlage beibehalten, hat ihr Analogon in der Unveränderlichkeit der Schwingungsebene oscillirender Körper, wenn ihnen noch eine rotirende Bewegung mitgetheilt wird. Am bequemsten läßt sich hierüber auf der Drehbank ein Versuch anstellen. Man entferne den Reitstock von der Bank und schraube (oder befestige in einem Futter) einen Stahldraht ac ungefähr von der Länge der Bank und bringe diesen zum Cen-

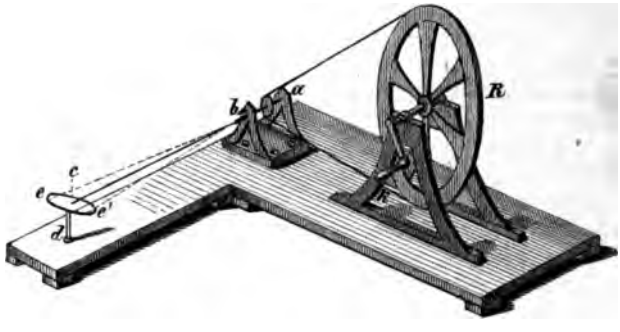


Fig. 150.

trischlaufen. Am Ende der Bank stelle man einen elliptischen Ring ee' (Fig. 150) senkrecht gegen die Spindelrichtung ab und so auf, daß der eingesetzte Stahldraht gerade den Mittelpunkt c der Ellipse trifft; es wird bequem sein, der großen Achse der Ellipse die horizontale, der kleinen die verticale Richtung zu geben. Man fasse nun den Stahldraht gegen sein Ende hin mit zwei Fingern, ziehe ihn in der Richtung der großen Achse aus dem Centrum der Ellipse und lasse ihn dann losschnellen; er wird in der durch die Spindelrichtung und die große Achse der Ellipse bestimmten Ebene hin- und herschwingen; gleichzeitig versetze man nun aber auch das Schwungrad R der Drehbank in Bewegung, so daß der Stahldraht, außer der schwingenden, auch noch eine rotirende Bewegung um seine eigene Längenachse erhält. Beobachtet man dann die Schwingungen des Drahtes in der Ellipse, so wird man bemerken, daß sie immer und unveränderlich in der ursprünglich ihnen gegebenen Richtung der großen

Achſe der Ellipſe geſchehen, obgleich der Draht jetzt ſich auch um ſich ſelbſt dreht.

Iſt man nicht im Beſitze einer Drehbank, ſo kann man zu demſelben Zwecke ſich des Apparates (Fig. 150) bedienen, wo das Rad R mittelſt der daran angebrachten Kurbel k gedreht wird. ab ſtellt die Spindel vor, an die der Draht ſelbſt, oder mit Hülfe eines Klemmfutters angeſchraubt werden kann; bei d iſt ein Stativ feſt aufgeſtellt, etwa in die Bank eingeſchraubt; dieſes trägt den elliptiſchen Ring ee, In der Ruhe trifft der Draht die Mitte c der Ellipſe; biegt man ihn ſeitwärts aus und ſetzt ihn zugleich in Rotation, ſo führt er ſeine Schwingungen, ungeachtet der rotirenden Bewegung, immer in derſelben Ebene aus. Wird der Apparat eigens zu dieſem Verſuche angefertigt, ſo giebt man der Spindel eine Bohrung von b aus in der Richtung der Achſe und ſchneidet eine Schraube ein, ſo daß der Draht bc, mit der entſprechenden Schraube verſehen, in dieſelbe eingeſchraubt werden kann. Die punktirten Linien be, be' ſtellen die Ausweichungen des elaſtiſchen Drahtes bei ſeiner Schwingung vor.

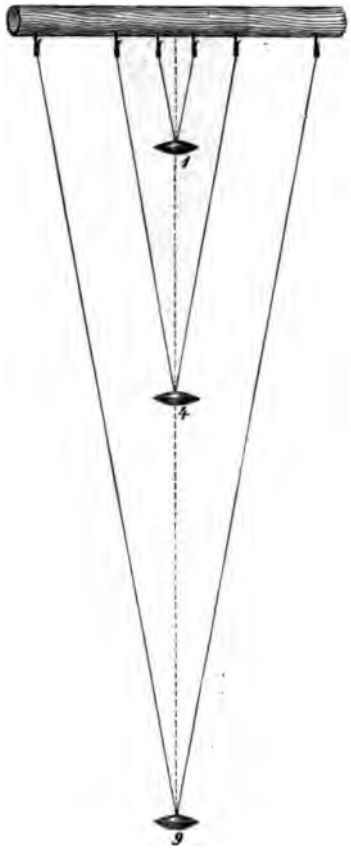


Fig. 151.

4. Das Pendel.

Zu Verſuchen über die Pendelgeſetze muß man einfache Pendel conſtruiren, von ſolchen Längen, daß ſie ganze, halbe und drittel Secunden ſchlagen. Sie werden aus guter Seide mit einer Meſſinglinſe daran gemacht. Da aber Pendel aus einem einfachen Faden leicht aus der Schwingungsebene heraustreten, ſo hängt man ſie an zwei Punkten auf, wie Fig. 151. Man verſchaffe ſich einen Arm von 40 — 50$^{cm.}$ Länge, der am einen Ende eine Hülſe mit Schraube hat, erſtere von ſolcher Weite, daß ſie genau auf die Halterſtange paßt, alles von hartem Holz; in den Arm werden 6 Häkchen geſchraubt, an welche die Fadenenden befeſtigt werden, ſo daß die drei Linſen ſenkrecht unter der Mitte

in einer Verticalen hangen. Die Linsen werden so an die Fäden befestigt, wie Fig. 152 nach größerem Maßstabe zeigt. Die Länge der Pendel muß sorgfältig zwischen der Mitte der Linse und der Mitte der horizontalen Distanz der Häkchen gemessen werden.

Bei den Versuchen wird man nur eins davon auf einmal in Bewegung setzen und seine Schwingungen mit denen des Secundenpendels der Fallmaschine, dessen Schläge man hören kann, vergleichen, die Vergleichung der einfachen Pendel unter einander also mittelbar anstellen. Gewöhnlich wird der Verfertiger den Pendeln die richtige Länge für die genannten einfachen Verhältnisse der Schwingungszahlen geben; sollte das aber nicht der Fall sein, so richte man zuerst das längste Pendel so ein, daß es mit dem zusammengesetzten Secundenpendel isochron schwingt, was durch wiederholte Versuche leicht zu erreichen sein wird; dann messe man den verticalen Abstand l der untersten Linse vom horizontalen Arm, nehme die Länge des mittelsten Pendels gleich $^1/_4$ l, die des obersten Pendels gleich $^1/_9$ l, versuche, ob das zweite zwei, das dritte drei Schwingungen macht, während das erste eine vollendet, und corrigire nöthigen Falls.

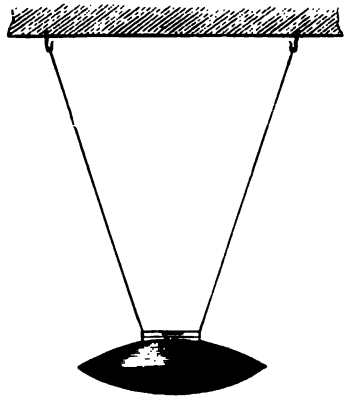


Fig. 152.

Durch Versuche mit diesen Pendeln überzeugt man sich von der Richtigkeit des Gesetzes über den Einfluß der Pendellängen.

Bei den eben beschriebenen Versuchen kommt es nicht so sehr darauf an, daß das Normalpendel, womit man die einfachen Pendel vergleicht, genaue Secunden schlage; der Zweck ist erreicht, wenn das einfache Pendel mit dem Normalpendel isochron schwingt und die Längen der anderen Pendel im quadratischen Verhältniß einfacher Zahlen stehen.

Um den Schwingungspunkt eines physischen Pendels, also eigentlich seine Länge für eine bestimmte Schwingungsdauer zu finden, muß man zunächst ein Pendel mit schwerelosem Faden herstellen, an dem außer dem Gewichte am unteren Ende nur noch ein Gewicht in geringerer Entfernung vom Aufhängepunkt angebracht ist, weil sich dann das Trägheitsmoment eines solchen Pendels leicht berechnen läßt. Nun lehrt die theoretische Betrachtung, daß die Länge des physischen Pendels gefunden wird, wenn man das Trägheitsmoment desselben durch das statische Moment dividirt. Sind also m, m′ die beiden Massen, r, r′ ihre Entfernungen vom Aufhängepunkt, so ist die Länge dieses Pendels

$$l = \frac{m.r^2 + m'.r'^2}{m.r + m'.r'}$$

Diese Größe läßt sich durch den Versuch constatiren, indem man m, m′ abwägt und r, r′ genau mißt, dann ein einfaches Pendel von der daraus berechneten Länge (aus einem seidenen Faden mit einer schweren Kugel am Ende) anfertigt und die Schwingungszeiten beider vergleicht. Hat man z. B. ein Gewicht von 300 gr. in 1 m. Abstand vom Aufhängepunkt und eins von 200 gr. in 50 cm. Abstand angebracht, so muß solches Pendel isochron schwingen mit einem einfachen Pendel von 87,5 cm. Länge.

Für die Bestimmung des Schwingungspunktes eines physischen Pendels ist besonders Kater's Reversionspendel (wozu Bohnenberger die Idee angegeben) zu verwenden. Es bietet zugleich den Vortheil, die Größe g und die Länge des einfachen Secundenpendels genau zu finden. An einer gleichmäßig gearbeiteten Stange von Eisen (Fig. 153) befinde sich gegen das eine Ende hin eine Schneide a als Achse eingesetzt, gegen das andere Ende hin eine zweite solche Achse b, die aber auf eine geringe Strecke verschiebbar ist; oder man mache beide Schneiden fest und richte die aufzusetzenden Gewichte verschiebbar ein, was leichter ist; wir nehmen diese letzte Einrichtung als die vorliegende an. Am besten ist es nun, zwei gleich schwere Linsen von nicht zu kleinem Gewicht, wenigstens von 1 Kgr. zu benutzen, welche sich an jeder beliebigen Stelle des Pendelstabes festschrauben lassen. Die eine Linse B schraube man an das Ende des Stabes nach der Seite der Schneide b hin, die andere A jenseits der Schneide b (oberhalb b, wenn wir die erste Linse als unteres Ende des Pendels ansehen), setze die zweite Schneide a auf geeignete Lager, lasse das Pendel schwingen und zähle die Schwingungen während einer bestimmten Zeit, z. B. einer Minute, für die ersten Versuche reicht auch eine halbe Minute aus. Man kehre dann das Pendel um, setze nämlich, ohne die Stellung der Linsen zu verändern, die Schneide b auf das Lager, lasse das Pendel abermals schwingen und zähle die Oscillationen während derselben Zeit, wie vorher. Es wird mehr oder weniger Schwingungen machen; im ersten Falle rücke man die Linse A etwas nach der Schneide a hin, so wird das Pendel bei dieser Aufhängungsweise (Linse B oben) langsamer, bei der ersten dagegen, wo B unten ist, schneller schwingen: nach einigen Versuchen wird man es dahin bringen, daß das Pendel nach beiden Aufhängungsweisen in gleichen Zeiten gleich viel Schwingungen macht; dann ist für die dann stattfindende Vertheilung der Massen der gegenseitige Abstand der beiden Schneiden die Länge des einfachen Pendels, das mit diesem isochron schwingt.

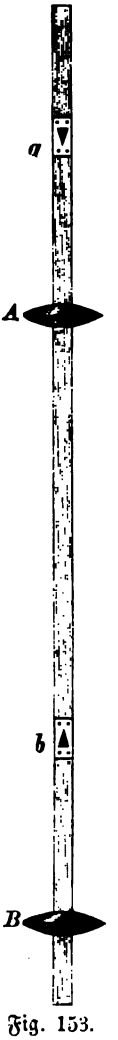


Fig. 153.

Ist die eine Schneide verschiebbar, und man befestigt unter und über der anderen zwei gleich schwere Körper, so kann man durch Verlegen der ersten Schneide es ebenfalls dahin bringen, daß das Pendel nach beiden Aufhängungsarten gleich schnell schwingt. Vertheilt man nun die beiden Massen so, daß das Pendel auf der festen Schneide Secunden schlägt, kehrt es dann um und verändert die bewegliche Schneide, auf der das Pendel jetzt aufliegt, so daß dasselbe wieder Secunden schlägt, so ist der gegenseitige Abstand der beiden Schneiden die Länge des einfachen Secundenpendels. Man muß freilich, nachdem die bewegliche Schneide verändert worden, das Pendel nochmals auf die feste auflegen, weil durch Veränderung der Schneide sich das Trägheitsmoment des Pendels etwas ändert; schlägt es jetzt nicht mehr Secunden, so wird das obere Gewicht höher oder niedriger gerückt, so daß es wieder Secunden schlägt; nun kehrt man wieder um, corrigirt an der Schneide und fährt so fort, bis das Pendel in beiden Lagen genau Secunden schlägt; um im Resultate sicher zu sein, muß man aber zwei oder mehr Minuten die Schwingungen zählen und die Zeit nach einer richtig gehenden Secundenuhr beobachten.

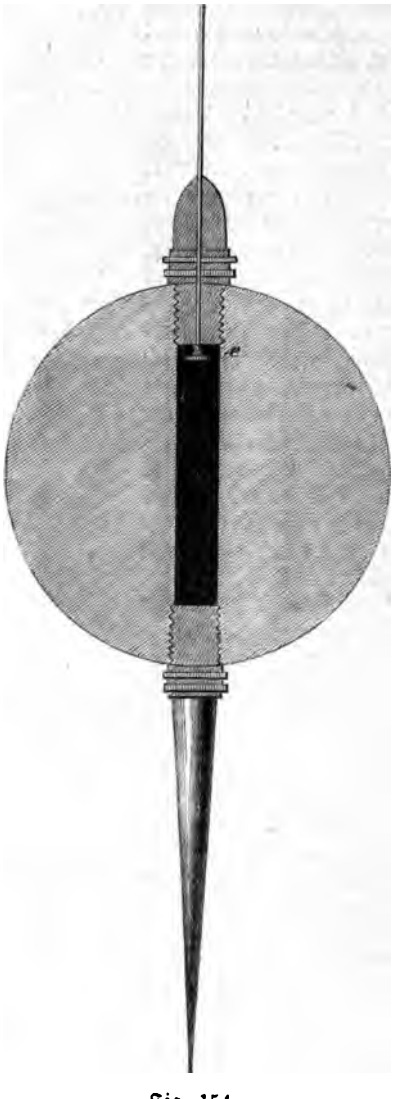


Fig. 154.

Foucault's Pendel. Zu diesem Versuche bedarf man zunächst eines Raumes von ausreichender Höhe, je höher, desto besser; 10 m dürfte wohl die geringste Höhe sein, bei der es lohnte,

den Versuch anzustellen. Zuweilen gewährt ein Treppenhaus durch zwei Etagen hindurch eine brauchbare Höhe. Dann ist ferner ein Gewicht von 10—20 kgr., am besten in Kugelform, nöthig. Die eiserne Kugel wird im Durchmesser durchgebohrt; auf der einen Seite schraubt man eine 10—15 cm. lange Spitze ein (Fig. 154), die beim Versuche nach Unten zu stehen kommt, um nahe über den Fußboden wegzuschwingen. Durch die Decke des zu verwendenden Raumes bohre man eine 4 cm. weite Oeffnung; in diese wird ein kegelförmig abgedrehter Holzkörper AB mit Griff mn (Fig. 155) von Oben eingesteckt, so daß er unten durchreicht. In die Endfläche B des Kegels ist der starke Messinghaken ab eingeschraubt; dieser ist bei c senkrecht durchbohrt, um den Draht durchzuführen, der die Kugel tragen soll. An den Draht ist hier ein Gewinde geschnitten, auf welches ein Knopf d aufgeschraubt wird; der Raum zwischen dem Knopf d und der inneren Fläche des Hakens wird durch einen kleinen Körper ausgefüllt, dessen untere Fläche gerade in die Krümmung des Hakens paßt; auf seiner oberen Fläche steht dann das Knöpfchen d auf. Am anderen Ende erhält der Draht ebenfalls ein Gewinde, mit dem er durch eine feine Bohrung, die jedoch kein Gewinde bekommt, gesteckt wird; unterhalb bei e (Fig. 154) wird wieder ein Knöpfchen aufgeschraubt. Dieser ganze Körper hat eine starke Schraube, mit welcher er in die Kugel eingeschraubt wird. Der Draht kann aus Eisen oder Stahl bestehen, darf aber nicht dicker sein als nöthig ist, um die Kugel zu tragen. Man wird wohlthun, sich mit dem nöthigen Werkzeug zu versehen, um wenigstens das eine Gewinde am Draht an Ort und Stelle einzuschneiden; da der Draht sich streckt, wenn die Kugel angehängt wird, so ist es nicht möglich, seine Länge ganz genau vorher abzupassen. Hat man nun seine Länge im Winter, bei niedriger Temperatur abgepaßt, so ist er im Sommer zu lang. Man muß dann entweder das Gewinde am oberen oder unteren Ende länger schneiden, um das Ende durchzuziehen, oder den Kegel AB (Fig. 155) mit Papier umwickeln, damit er nicht mehr so tief in das Loch in der Decke hineingeht.

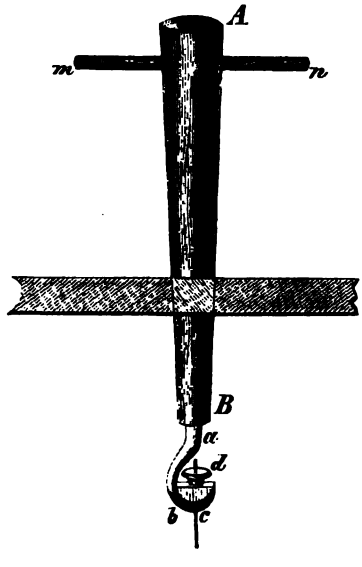


Fig. 155.

Wenn die Kugel nun richtig am Drahte hängt und die unten in

die Kugel eingeschraubte Spitze (Fig. 154) beinahe den Boden berührt, so bemerke man den vertical darunter liegenden Punkt und bezeichne ihn dadurch, daß man eine Messingschraube einsetzt, auf deren Kopf ein Kreuz eingerissen wird, so daß der Kreuzungspunkt genau unter die Spitze der in völliger Ruhe hangenden Kugel fällt. Um diesen Punkt als Centrum schlage man mit einem Stangenzirkel (etwa mit Blei oder Kreide) einen Kreisbogen von 1—2 m. Radius und bestimme auf diesem den Punkt, von welchem man bei den Versuchen ausgehen wird. Die Wahl dieses Punktes hängt meist von der Localität ab, da nicht nach allen Seiten hin der nöthige Raum vorhanden sein wird; ist dieser vorhanden, so ist es ganz gleichgültig, von wo man ausgeht; aber wegen der zu treffenden Vorbereitungen muß er doch festgesetzt werden. Nun berechne man für den Radius, womit der Kreisbogen geschlagen ist, die Sehnen für 1^0, 2^0, 3^0 ..... bis so weit, als man die Versuche mit dem Pendel fortzuführen gedenkt; diese Berechnung ist mittelst der Sehnentafel in „Hülsse's Sammlung mathematischer Tafeln" sehr erleichtert; sie sind auf einen Radius von 500 Längeneinheiten berechnet; man findet sie also leicht für jeden anderen Radius. Die so berechneten Sehnen trage man vom Anfangspunkte aus im Bogen ab und schlage bei jedem so bestimmten Punkte einen Drahtstift von Messing in den Fußboden, so hat man die für die Versuche nöthige Theilung für alle Zeiten, da sie unverwüstlich ist. Sollte bei späteren Versuchen die Spitze der Kugel nicht sofort genau auf das Centrum weisen, so drehe man nur den Kegel AB etwas herum; man wird dann bald eine Lage finden, die der Forderung entspricht.

Will man nun einen Versuch beginnen, so muß man die Kugel an einem Faden so weit aufheben, als der Elongationswinkel betragen soll. Um dies zu ermöglichen, ohne daß sich Fehler in den Versuch einschleichen, lasse man in die Kugel einen größten Kreis eindrehen, jedoch nur so tief und breit, daß ein gewöhnlicher Faden von Seide oder Flachs darin Platz findet, und zwar denjenigen größten Kreis, wozu der unterste und oberste Punkt der Kugel Pole sind, d. h. denjenigen, auf welchem das Bohrloch in der Kugel senkrecht steht. Man binde jetzt einen Faden um diese kleine Rinne, binde ihn an dem, dem Anfangspunkte des Gradbogens genau gegenüberstehenden Punkte fest und lasse noch ein langes Ende Faden daran; dieses Fadenende strecke man in der Verticalebene aus, die durch das Centrum und den Anfangspunkt des Gradbogens bestimmt wird. An dem nächsten in dieser Richtung befindlichen haltbaren Körper befestige man den Faden an einem eingeschlagenen Nagel oder einer in denselben geführten Schraube, und warte ab, bis die Kugel zur vollkommenen Ruhe gekommen. Die Befestigung des Fadens muß rücksichtlich der Richtung mit der größten Vorsicht beschafft werden; sie muß so sein, daß das Pendel seine erste Schwingung genau in der Richtung nach dem Anfangspunkte des Gradbogens macht, weil es sonst Schwierigkeiten bei der Beziehung der Drehung der Schwingungsebene auf die Zeit macht. Ehe man nun

den Versuch fortsetzt, sorge man dafür, daß der Raum, worin er angestellt wird, völlig abgeschlossen sei und es während der Schwingung des Pendels bleibe; auch sollten die anwesenden Personen durchaus an einer Stelle bleiben und keinen Luftzug veranlassen. Wenn alle diese Bedingungen erfüllt sind, nehme man eine Secundenuhr zur Hand, halte ein Licht (etwa ein kleines Wachslicht) bereit und warte einen Augenblick ab, der sich an der Secundenuhr leicht wieder bemerklich macht, z. B. die volle Minute, und brenne in demselben Augenblick den Faden ab. Die Zeit hat man sich genau zu merken. Das Pendel wird in Schwingung gerathen, nach und nach wird die Schwingungsebene von der anfänglichen abweichen, und zwar, wenn man sich in den Mittelpunkt des gezogenen Gradbogens denkt, wird die Abweichung nach Rechts hin fallen. Da es nun interessirt, während der Schwingung, auch nach kürzeren Zeitintervallen die Abweichung zu kennen, so habe ich mir dieselbe für je 5 Minuten berechnet und finde bei der hiesigen Breite von ca. $53^1/_2{}^0$ 1^0 auf 5 Minuten Zeit. Und in der That, wenn man die im Vorigen empfohlene Vorsicht in jeder Beziehung genau beobachtet, findet man, daß die Schwingungsebene jede 5 Minuten um 1^0 in der Richtung S. W. N. O. abweicht, in 1 Stunde um 12^0 u. s. w. Kann man den Versuch in einem Raume anstellen, der sich abschließen läßt, so kann man die Schwingung auch mehrere Stunden fortgehen lassen, ohne dabei zu bleiben, und dann, wenn man zurückkommt, finden, daß das Gesetz $\beta = \alpha \sin \varphi$, wo α die Drehung der Erde während der Beobachtungszeit, φ die geographische Breite des Orts, β die Drehung der Schwingungsebene in derselben Zeit bedeutet, auch für größere Zeiten durch den Versuch bestätigt wird.

Leicht tritt der Fall ein, daß das Pendel nicht in einer Ebene schwingt, sondern ellipsoidisch gestaltete Flächen, mit der Spitze der Nadel in der horizontalen Ebene Ellipsen beschreibt; dies kommt, wenn man die Construction des Apparates an sich als richtig annehmen darf, dann allemal von einem während der Schwingung herrschenden Luftzuge her; daher muß man solche fremde Einwirkung streng vermeiden.

Das Maß einer Arbeit wird bekanntlich durch die Arbeit gemessen, welche erforderlich ist, um 1 Kgr. $1^{m.}$ hoch zu heben; dieses Einheitsmaß der Arbeit nennen die Franzosen Kilogrammomètre, was nach französischem Bildungsgesetz der substantiven Zusammensetzungen ganz richtig ist: Kilogramme ist das Hauptwort der Verbindung, mètre das attributive (besser appositionelle) Bestimmungswort. Die deutsche Sprache hat ein anderes Bildungsgesetz: sie setzt das Hauptwort zuletzt: die nähere Bestimmung voran; wir müssen also deutsch sagen: Meterkilogramm, wie wir bisher sagten: „Fußpfund". Die zu messende Arbeit ist eine Kraft, die während der Bewegung durch einen bestimmten Weg ausgeübt wird; eine Kraft kann wohl durch ein Gewicht, Pfund oder Kgr. gemessen werden, aber nicht durch einen Weg, Fuß oder Meter; der erste, der den französischen Ausdruck des Arbeitsmaßes in gleicher Form in's Deutsche übertragen hat, war sich also weder des Unterschiedes zwischen den französischen und

deutschen Wortbildungsgesetzen bewußt, noch auch des durch das Wort zu bezeichnenden Begriffs; er ahmte wissens- und gedankenlos die fremde Sprachform nach und seitdem haben Alle, die über den Begriff des Arbeitsmaßes zu schreiben hatten, eben so gedankenlos die sprachlich und logisch ganz falsche Form nachgeschrieben. Es ist übrigens zu verwundern, daß, abgesehen von der Verletzung des Wortbildungsgesetzes, die Physiker nicht Anstoß genommen haben an der ganz undeutschen Wortform, welche leicht zu der irrthümlichen Auffassung verleiten kann, Kilogrammometer sei eine Bildung wie Thermometer, Barometer, wo es dann Einer für ein Ding halten könnte, womit das Kilogramm gemessen werde. Kurz, der Ausdruck muß Meterkilogramm heißen und darf nicht anders lauten, wenn man gutem Deutsch nicht Hohn sprechen will.

V. Molecularkräfte tropfbarer Körper.

1. Tropfbarkeit.

Der instructivste Versuch über Tropfbarkeit und Kugelgestalt der Tropfen ist folgender: man gießt Brennspiritus und Wasser in solchem Verhältniß zusammen, daß die Mischung das spec. Gew. des Baumöls bekommt, was man daran erkennt, daß kleine Tröpflein Oel in der Flüssigkeit schweben. Ist dies erreicht, so bringt man mittelst einer Pipette eine größere Menge Oel unter die Oberfläche der Flüssigkeit und sucht sie an derselben Stelle aus der Röhre herauszudrücken. Zuweilen theilt sich dabei das Oel in einzelne Kugeln, die nachher schwer zu vereinigen sind. Die Pipette muß eine weite Oeffnung haben und man muß sie recht fest an derselben Stelle halten, nicht mit der Hand zittern; um letzteres zu verhüten lege man die Röhre gegen den Rand des Gefäßes an; auch nehme man reines Oel, nicht das mit Kupfer versetzte; mit dem leichtflüssigeren Petroleum gelingt der Versuch noch fast besser. Wenn das Oel so durch den Druck der Luft aus der Pipette herausgeflossen und bei nöthiger Vorsicht in einer Masse zusammengeblieben ist, bildet es auch eine vollkommene Kugel. Zur besseren Beobachtung ist ein Gefäß mit ebenen Wänden einem Cylinder vorzuziehen, weil letzteres durch Lichtbrechung den Tropfen oval erscheinen läßt. Es ist schade, daß der Tropfen, selbst beim sorgfältigsten Verschluß des Gefäßes, doch nach und nach zerfließt; man muß daher jedesmal, wenn die Erscheinung gezeigt werden soll, den Tropfen von Neuem erzeugen.

2. Adhäsion.

Die Adhäsion tropfbarer Flüssigkeiten an feste Körper zeigt man mit der Wage und verschiedenen eben geschliffenen Platten aus Glas, Messing, Zink ꝛc. (Fig. 156). An die Wage hängt man auf der einen Seite die Schale mit kurzer Aufhängung an, an diese eine der ge-

nannten Platten, wo möglich in drei Punkten befestigt, und bringt die Wage durch Tara zum Einstehen. Nun setzt man unter die Adhäsionsplatte ein Gefäß mit Wasser. Um die Platte mit der Wasseroberfläche in Berührung zu bringen, muß man entweder das Wasser höher bringen, oder die Wage tiefer senken. Diese Verschiebung muß aber langsam und stetig geschehen, weil sonst leicht das Wasser über die Platte zu stehen kommt und dann den Versuch verdirbt. Will man das Wasser, oder doch seine Oberfläche höher bekommen, so gelangt man am leichtesten zum Ziele wenn man die Platte so aufhängt, daß sie ins Gefäß hinein reicht, ohne die Wasseroberfläche zu berühren, und dann durch einen Trichter mit langer Röhre, die bis nahe an den Boden des Gefäßes reicht, besser noch mit einer Pipette, Wasser nachgießt; will man die Platte senken, so geschieht dies ganz leicht, wenn die Wage an der Halterstange aufgehängt und die Aufhängung so eingerichtet ist, wie wir oben (S. 85) beschrieben, daß sich nämlich die Wage nicht in der Horizontalebene drehen kann; löst man die Schraube, so läßt sich der Arm so stetig tiefer rücken, als man nur wünschen kann. Ist nun die Platte mit der Wasseroberfläche in Berührung gebracht so lege man Gewichte auf die andere Schale, um die Platte vom Wasser zu trennen. Wenn das Zulegen recht langsam, mit kleinen Zulagen auf einmal, geschieht, so erfährt man, wie viel Gewicht nöthig ist, um die Adhäsion zu überwinden. Dividirt man dieses Gewicht, das zur Trennung erforderlich war, durch die berührende Fläche der Platte, so bekommt man die Größe der Adhäsion einer Flächeneinheit, die specifische Adhäsion des Stoffs an Wasser. Vor der völligen Trennung sieht man wie das Wasser sich über das Niveau erhebt und der Platte nachfolgt.

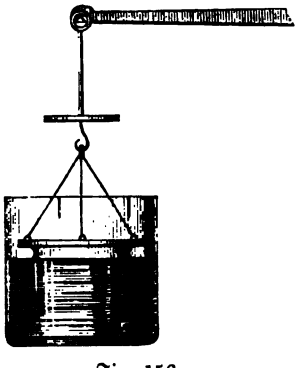


Fig. 156.

Dieselben Versuche mache man nun mit allen vorhandenen Platten und Wasser, dann auch mit denselben Platten und einer anderen Flüssigkeit, z. B. Alkohol, Oel, u. s. w. Durch die Vergleichung der so gewonnenen Zahlenwerthe werden die Versuche recht interessant werden.

Ein Uhrglas auf einer schiefen Glasplatte liefert ein gutes Beispiel der Adhäsion, der Lagenänderung des Schwerpunkts und des Beharrungsvermögens. Eine sehr rein geputzte Glasplatte wird so hingelegt, daß sie mit der Horizontalebene einen Winkel von 20—30° macht; dann benetzt man die Mitte der convexen Seite eines Uhrglases mit einem Tropfen Wasser, legt das Glas oben auf die geneigte Glastafel und drückt die eine Seite des Uhrglases, rechts oder links, mit dem Finger etwas nieder; das Uhrglas rotirt dann nach der entgegen-

gesetzten Seite schräg über die Glasplatte herunter, rechts, wenn man links gedrückt hat, und umgekehrt.

3. Capillarität.

Man verschaffe sich U-förmige Röhrchen mit gleich langen Schenkeln, wovon der eine 1 cm. weit, der andere ein Haarröhrchen ist, wie (Fig. 157). Man muß mehrere solcher Röhrchen haben; die weiteren Schenkel können alle von gleicher Weite, die engeren müssen aber alle von verschiedener Weite sein, vom engsten Haarröhrchen an bis zu 2 oder 3 mm. Sie werden am besten auf einem Stativ an einem Brette befestigt und mit Theilung ab nach cm. und mm. versehen (Fig. 158). Wenn man in

Fig. 157.

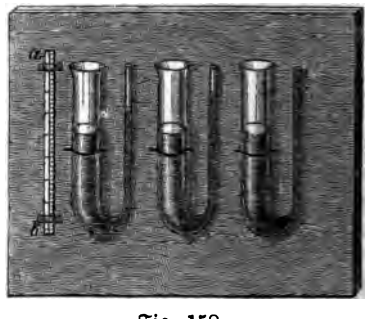


Fig. 158.

alle dieselbe Flüssigkeit gießt, und zwar im weiteren Röhrchen bis zu derselben Höhe, so kann man den Stand in den engen bequem mit einander vergleichen. Noch leichter wird die Vergleichung, wenn man die Flüssigkeit mit einer farbigen Tinctur etwas färbt, allein dies hat den Nachtheil, daß der Farbstoff den Stand der Flüssigkeit um etwas verändern kann; jedenfalls muß man dann die Röhrchen nach dem Versuche sorgfältig mit destillirtem Wasser auswaschen, damit kein Farbstoff darin zurückbleibt. Da die farbigen Tincturen alkoholische Auszüge sind, so wird es gut sein, erst mit absolutem Alkohol zu waschen, dann mit destillirtem Wasser nachzuspülen. Um auch die nach der Weite verschiedene Depression zu zeigen füllt man die Röhrchen auch mit reinem Quecksilber.

Man kann indeß dieselben Resultate mit dem Apparat (Fig. 159) erhalten, wo gerade Haarröhrchen in einer Messingplatte ab befestigt sind und in die in einem Glase AB, worauf die Platte liegt, enthaltene Flüssigkeit tauchen. In der Platte ab ist außerdem ein Stäbchen cd befestigt, welches eine Theilung in mm. trägt und gerade bis zur Wasseroberfläche reicht. Auf demselben ist ein Zeiger n angebracht, der sich

mit einiger Reibung höher und niedriger schieben läßt und über die ganze Reihe der Röhrchen hinüberreicht. Gießt man nun Wasser in das Gefäß AB bis CD, so daß die Spitze des Maßstabes cd gerade die Wasseroberfläche berührt, so wird man mittelst des Zeigers die Höhe der Flüssigkeit in allen Röhrchen leicht ablesen können.

Beide eben beschriebenen Apparate müssen vor dem Versuche so gestellt werden, daß die über das Glas gelegte Platte, worin die Röhren befestigt sind, horizontal liegt, oder der darauf senkrechte Maßstab vertical. Man gelangt am einfachsten dazu, wenn man das Glas auf unsere Glasplatte mit Stellschrauben (S. 113) setzt und mit dieser justirt.

Parallele, einander genäherte Platten heben das Wasser überall

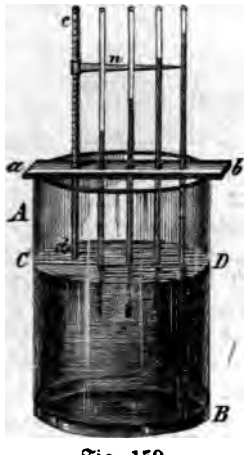


Fig. 159.

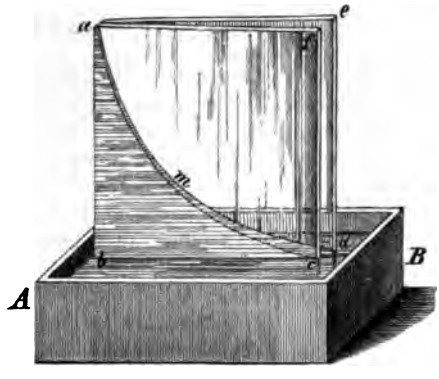


Fig. 160.

gleich hoch empor und geben also eine horizontale Wassergrenze. Schließen die Platten wie (Fig. 160) an einer Seitenkante ab an einander an, bilden aber einen ganz kleinen Flächenwinkel eaf oder dbc mit einander, und taucht man sie so ins Wasser des Gefäßes AB, daß die Kante ab vertical steht, so bildet die Wassergrenze die Hyperbel amcd.

4. Endosmose und Exosmose. Diffusion.

Hierzu dient der Apparat (Fig. 161) S. 159. Das Gefäß a ist eine Flasche, der man den Boden abgesprengt hat; statt dessen ist eine Blase übergebunden. In den Hals steckt man einen Kork, durch den eine Glasröhre bc geführt wird. Um diese Vorrichtung im Glase AB schwebend zu erhalten, wird auf dieses ein Deckel lose aufgelegt und die Röhre bc mittelst eines Korks darin befestigt. In das Glas AB gießt man Wasser, in die Flasche a irgend eine Salzlösung; da es zweckmäßig ist, eine gefärbte Flüssigkeit zu haben, so eignet sich ganz

besonders eine Auflösung von Kupfervitriol dazu. Das Gefäß a wird so weit mit Flüssigkeit gefüllt, daß diese noch in die Röhre hinaufreicht, um nachher die Niveauänderung desto besser zu sehen. Man wird bald bemerken, daß die Salzlösung sich vermehrt. Mit Schwefelsäure und Wasser stellt man den Versuch mit Hülfe einer porösen Thonzelle an; man gießt concentrirte Schwefelsäure in die Thonzelle, stellt sie in ein Glas mit Wasser so, daß die Niveaux beider Flüssigkeiten zusammenfallen; man wird bald sehen, daß das Niveau der Säure gestiegen, das des Wassers gefallen ist. Es geht aber auch Etwas von der Säure zum Wasser; davon überzeugt man sich, wenn man nachgehends eine Probe von der äußeren Flüssigkeit herausnimmt und einige Tropfen Chlorbarium zugießt; es entsteht nämlich ein unlöslicher Niederschlag von schwefelsaurem Baryt.

5. Anziehung und Abstoßung durch moleculare Kräfte.

Die Erscheinungen lassen sich mit Glasplatten und auch mit Glaskugeln nachweisen. Die zu verwendenden Platten müssen von Spiegelglas sein und eben geschliffen werden. Platten von 3 cm. Breite dürften sich am besten dazu eignen. An einer schmalen Seite befestigt man mit Siegellack die beiden Enden eines Fadens an zwei einander gerade gegenüberstehenden Punkten der beiden Glasflächen, streckt den Faden aus und hängt ihn mit seiner Mitte an einem horizontalen Stäbchen, etwa am Filtrirarm eines Retortenhalters auf. Besser noch ist es, in jede Platte am Rande zwei Löcher zur Aufnahme der Fäden zu bohren. Geschieht dasselbe mit allen Platten, so werden sie alle parallel hängen, worauf es bei diesem Versuche besonders ankommt. Um das Naßwerden zu verhindern reibt man etwas Talg auf, erwärmt die Platte und vertheilt das Fett gleichmäßig mit dem Pinsel. Wenn es kalt geworden, wird sich immer der convexe Randwinkel im Wasser zeigen. Die bekannten Erscheinungen sind durch die (Fig. 162—164) veranschaulicht; die Pfeile zeigen die Richtung der Bewegungen.

Hohle Glaskugeln, die auf Wasser schwimmen, zeigen dasselbe. Um eine Kugel fettig zu machen wird sie erst an ein Siegellackstäbchen gekittet dann in derselben Weise gefettet wie die Platten, endlich wird das Lackstäbchen davon getrennt. (Fig. 165—167) zeigen die Erscheinungen mit Kugeln.

6. Compressibilität tropfbarer Flüssigkeiten.

Hierzu dient das von Mitscherlich verbesserte Piezometer von Oersted (Fig. 168). An eine enge, aber überall gleich weite Glasröhre ist das weitere Gefäß a angeblasen. Das Gefäß wird tarirt und auf die bekannte Art (durch Erwärmen) mit destillirtem Wasser gefüllt; die Röhre ist calibrirt, oder vielmehr, man hat eine überall gleich weite Röhre

Fig. 161.

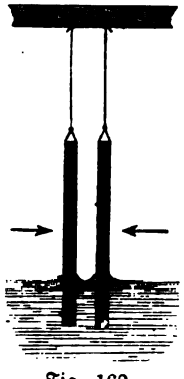


Fig. 162.

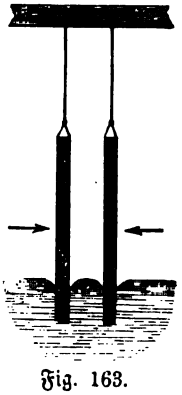


Fig. 163.

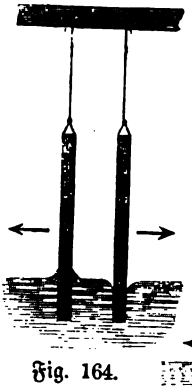


Fig. 164.

Fig. 168.

Fig. 165.

Fig. 166.

Fig. 167.

ausgesucht und sie in Theile von gleicher Länge getheilt, wo diese Theile dann auch gleiches Volumen haben; die Theilung ist auf die Platte aufgetragen, auf welche die Röhre aufgeschraubt ist. Die Füllung des Gefäßes geschieht genau bis an den Nullpunkt der Theilung; man bestimmt dann das Gewicht des eingefüllten Wassers und füllt nun auch die Röhre mit Wasser bis an den obersten Theilpunkt; man wägt wieder, so erhält man das Gewicht des in der Röhre enthaltenen Wassers. Das Gefäß fasse p gr., die Röhre q gr. und diese sei in 100 Theile getheilt, so beträgt ein Theil $\frac{q}{100}$ gr., ist also vom Gefäß der $\frac{100.\,p}{q}$te Theil. Will man nun einen Versuch anstellen, so füllt man das Gefäß und die Röhre voll Wasser, hat also p + q gr. Wasser, oder auch p + q c. cm., die man dem Versuche unterwirft. Nennen wir v das Volumen eines der 100 Theile der Röhre, so sind q gr. = 100. v, also p gr. $= \frac{100.\,p}{q}$. v, folglich die p + q gr. $= 100 + \frac{100.\,p}{q} = \frac{100\,(p+q)}{q}$. v.

Ein Röhrchentheil ist also $= \frac{q}{100\,(p+q)}$ der ganzen dem Versuche unterworfenen Wassermenge; n Röhrentheile $= \frac{n\,q}{100\,(p+q)}$ des Ganzen. Dieselbe Platte, auf der das Wassergefäß a befestigt ist, nimmt noch eine Manometer-Röhre auf, um nach dem Mariotte'schen Gesetz den angewendeten Druck zu messen; dies ist eine einfache, unten offene, oben verschlossene Röhre mn, auf welcher die Druckkräfte nach Atmosphären verzeichnet sind. Die Platte mit den beiden Röhren wird nun in ein eisernes Gefäß A gesetzt, in welchem sich Quecksilber befindet, dieses in den starken mit Fuß von Messing versehenen Glascylinder B, zu welchem Zweck an das Eisengefäß A ein Eisenstab befestigt ist, der bis oben an den Rand von B reicht, um A bequem einsetzen und wieder herausnehmen zu können. Die Platte, worauf diese Röhren befestigt sind, muß auf den Boden des Gefäßes A reichen und das Rohr des Gefäßes a in das in A befindliche Quecksilber tauchen; ebenso das Manometerrohr. Das Gefäß B hat oben eine starke Fassung, auf welche ein Deckel aufgeschraubt werden kann. Auf den Deckel wird eine Pumpe D mit Wasserreservoir E aufgeschraubt. Die Pumpe hat einen Hahn, der nach einer Richtung ganz, nach der darauf senkrechten halb durchbohrt ist, wie die Nebenfigur h zeigt. Bei der Hahnstellung, die die Figur h zeigt, wird der Kolben der Pumpe in die Höhe gezogen, das Pumpenrohr füllt sich mit Wasser aus dem Reservoir E. Dreht man den Hahn aus dieser Stellung um 90° rechts herum, so daß die halbe Durchbohrung horizontal und vom Reservoir abwärts nach rechts hin, die durchgehende vertical zu stehen kommt, so geht beim Herunterstoßen des Kolbens das im Pumpenrohr enthaltene Wasser in den Cylinder B hinein. Der Hahn muß übrigens nach beiden Seiten hin einen Anschlag haben, so daß man ihn nur gerade so weit drehen kann, daß er die angegebenen Stellungen einnimmt.

Nachdem nun die Platte mit Zubehör in den Cylinder B hinein

gestellt, wird dieser vollständig mit Wasser gefüllt, der Deckel fest aufgeschraubt und der Stand des Queckſilbers in der Wasserröhre und im Manometer beobachtet; dann gießt man Wasser in das Reservoir E und setzt die Pumpe in Bewegung. Nach einigen Kolbenzügen wird also mehr Wasser im Cylinder B sein, als unter gewöhnlichen Umständen darin Platz hat. Dieser Ueberschuß an Wasser muß einen Druck auf Alles, womit es in Berührung steht, ausüben, also namentlich auch auf das Queckſilber in dem Eisengefäß A, in welches die Oeffnung der Wasserröhre und die der Manometerröhre tauchen. Ebenso wird dieser Druck auf die Innenfläche des Cylinders B wirken und kann diesen in der That etwas erweitern, weil der Druck nur einseitig wirkt; da aber an diesem Wasser Nichts gemessen wird, so thut diese mögliche Erweiterung dem Versuche keinen Eintrag. Auf das Gefäß a dagegen wirkt der Druck sowohl von Außen, wie, durch das Queckſilber hindurch, von Innen; eine Veränderung des Inhaltes des Gefäßes a ist daher nicht zu befürchten.

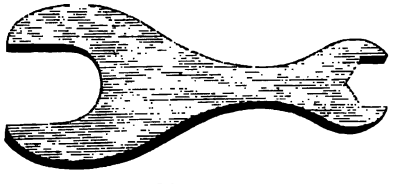


Fig. 169.

Beobachtet man nach einigen Kolbenzügen den Stand des Queckſilbers wieder in beiden Röhren, so bemerkt man, daß es gestiegen ist; an der Wasserröhre liest man die Scalentheile ab, um die das Queckſilber gestiegen, an der Manometerröhre den Druck. Da das Gefäß voll Wasser war und sich nicht ausdehnen konnte, so ist in der That das Wasser zusammengedrückt worden. Kennt man für den angewendeten Apparat die oben mit p und q bezeichneten Zahlen, so kann man berechnen, welchen Bruchtheil des ganzen Inhaltes vom Gefäße a und der Röhre die Volumensverminderung beträgt.

Es versteht sich von selbst, daß alle Fugen am Piezometer dicht schließen müssen, weil bei dem großen Druck mehrerer Atmosphären sonst das Wasser durchdringt. So ist namentlich um die Deckelschraube herum ein Ring von festem Kalbleder zu legen; der Deckel wird mit zwei Schraubenschlüsseln, von denen der eine auf die Fassung des Cylinders, der andere auf den Deckel paßt, stark angezogen. Ein solcher Schlüssel wird durch Fig. 169 vorgestellt. Wenn der Versuch zu Ende ist, öffnet man den Hahn gegen das Reservoir; das in den Cylinder eingepumpte Wasser fließt dann von selbst ins Reservoir zurück. Um für den Fall, daß bei einem sehr starken Druck der Cylinder springen sollte, gegen eine körperliche Verletzung gesichert zu sein, setzt man über den unteren Theil des Instruments ein Drahtgitter.

Wie mit dem Wasser so werden die Versuche über Compression anderer Flüssigkeiten angestellt. Mittelst des Apparates (Fig. 170) kann man auch Versuche mit verschiedenen Flüsigkeiten zugleich anstellen; AA stellt das schon erwähnte Eisengefäß A der Fig. 168 vor, nn den Griff

desselben, an welchem die Halter für mehrere Röhren angebracht sind, worunter natürlich auch eine Maßröhre sein muß.

VI. Gleichgewicht tropfbarer Flüssigkeiten.

1. Fortpflanzung des Drucks.

Die Fortpflanzung des Drucks in tropfbaren Flüssigkeiten ist durch die theoretische Betrachtung an sich klar und wird durch verschiedene anderweitig vorkommende Versuche noch mehr zur Ueberzeugung gebracht.

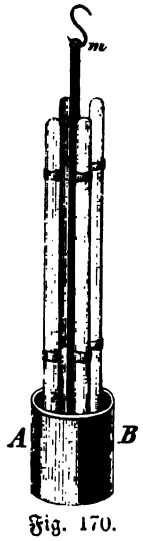


Fig. 170.

Fig. 171.

Fig. 171.

Fig. 171.

Der gewöhnlich hierfür angeführte Versuch dürfte wohl kaum je angestellt werden; er dient vielmehr nur dazu, die Vorstellung zu fixiren und kann füglich übergangen werden.

2. Der Bodendruck.

Eine Messingplatte AB (Fig. 171), ruht auf zwei in dem Fußbrette CD angebrachten Ständern. Die Platte ist in der Mitte durchbohrt und mit einer Schraube versehen, in welche die Fassungen der Gefäße M, N, O, P genau passen; M ist cylindrisch, N erweitert sich, O verengt sich noch Oben, P ist gebogen. Die in AB geschnittene Oeffnung hat nach Unten einen vorstehenden Rand, gegen welchen eine Platte bb angelegt werden kann. In die Mitte der unteren Fläche der Platte bb ist eine Vertiefung eingebohrt, mit welcher sie auf eine Spitze aufgesetzt wird, die sich am Ende des Hebels cd befindet; dieser Hebel hat seinen Drehpunkt n in dem einen Ständer, an's Ende d desselben

wird eine Schale s angehängt. Auf das Fußbrett wird ein passendes Glasgefäß gestellt, um ausfließendes Wasser aufzunehmen. Am einen Ende der Platte AB ist ein senkrechter Messingstab angebracht, der eine Theilung hat, deren Nullpunkt jedoch in der Horizontalen des unteren Randes aa liegt; auf der Stange ist der Zeiger ef verschiebbar; er hält sich durch die Reibung an der ihm angewiesenen Stelle fest.

Man lege nun so viel Gewichte in die Schale s, daß sie, mit dieser zusammen, der Platte bb das Gleichgewicht halten; dann lege man noch 100—200 gr. hinzu, merke sich aber dieses zugelegte Ge-

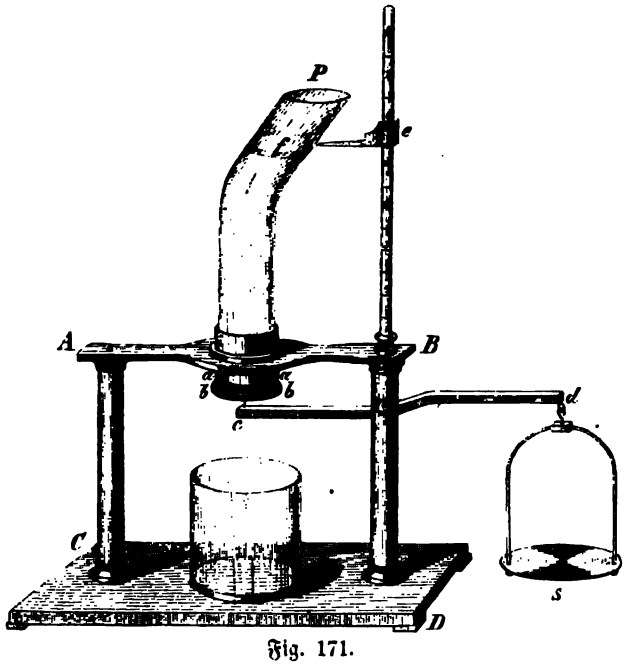


Fig. 171.

wicht, damit es nicht mit der Tara verwechselt werde, und rechne zu diesen Gewichten das bereits ermittelte Gewicht der Schale s, gieße dann so viel Wasser in das aufgeschraubte Gefäß, daß es gerade anfängt durchzutropfen, bringe den Zeiger ef in die Horizontale der Wasseroberfläche und lese den durch den Zeiger ef angegebenen Theilstrich ab. Man erfährt so, daß dem aufgelegten Gewichte (mit Schale) die Wasserhöhe entspricht, welche man von der Scala abgelesen, also, da der Hebel gleicharmig ist, das Wasser einem dem in d wirkenden Gewichte gleichen Druck ausübt.

Man lege jetzt so viel Gewicht auf die Schale s, daß es, mit der

Schale, das Doppelte des vorigen mit Schale ausmacht, gieße Wasser bis zum anfangenden Ausfluß in das aufgeschraubte Gefäß und verfahre gerade wie vorher, so wird man finden, daß das doppelte Gewicht zum Gleichgewichte auch eine doppelt so große Wasserhöhe erfordert; das dreifache Gewicht würde die dreifache Wasserhöhe erfordern, u. s. w. Man wird zweckmäßig diese Versuche mit dem cylindrischen Gefäße M beginnen; in diesem gehört zu der doppelten Wasserhöhe auch die doppelte, zur dreifachen Wasserhöhe die dreifache Wassermenge u. s. w. Stellt man aber denselben Versuch mit den Gefäßen N und O an, so ergiebt sich daraus, daß die zum Gleichgewichte erforderlichen Gewichte ebenfalls den Wasserhöhen, aber nicht den in den Gefäßen enthaltenen Wassermengen proportional sind. Nun aber erweitert sich das Gefäß N nach Oben, während O sich verengt. Bei N gehört also zur doppelten Wasserhöhe mehr, bei O weniger als die doppelte Wassermenge. Die zum Gleichgewicht erforderlichen Gewichte sind also nicht den in den Gefäßen enthaltenen Wassermengen, sondern lediglich den Wasserhöhen proportional. Aber auch das gekrümmte Gefäß P macht hiervon keine Ausnahme. Gleiche Wasserhöhen erfordern in allen Gefäßen, welche Gestalt sie haben mögen, gleiche Gewichte. Dabei ist indeß wohl zu beachten, daß bei allen diesen Gefäßen, die Fläche des Bodens dieselbe ist, denn sie wird bei allen Versuchen durch die innere Durchschnittsfläche des Ringes a a gebildet. Versuche mit verschiedenen Bodenflächen würden ergeben, daß der Druck, bei gleichen Wasserhöhen, den Bodenflächen proportional ist. Bei gleicher Bodenfläche aber ist der Wasserdruck auf den Boden der Wasserhöhe proportional.

Der hier beschriebene Apparat ist, in etwas veränderter Gestalt, zuerst von Haldat angegeben. Ich habe ihn in mehreren Punkten abgeändert, und zum Versuche geeigneter gemacht. Zu bemerken ist noch, daß man bei den Versuchen nicht zu kleine Gewichte auf die Schale legen darf, weil sonst die Resultate nicht genau ausfallen.

3. Verticaler Druck nach Oben. Horizontaler und schiefer Seitendruck.

Den Wasserdruck von Unten nach Oben in verticaler Richtung, so wie den horizontalen und schiefen Seitendruck weist man durch die Apparate (Fig. 172—174) nach. Die Röhrchen sind in allen drei Figuren an beiden Enden offen. In allen ist eine Deckplatte mit einem Häkchen dazu bestimmt, die untere Oeffnung zu verschließen; die Platte wird an einem durch das Rohr gezogenen Faden festgehalten und gegen den Rand der Oeffnung angedrückt. Ist das Röhrchen so verschlossen, so taucht man es, den Faden fest anziehend, unter Wasser und findet bald eine Stelle, wo die Platte auch ohne gehalten zu werden an dem Röhrchen fest hält. Durch abwechselndes Heben und Senken findet man bald die Grenze heraus, von wo ab die Platte festhält; in solcher Tiefe ist dann der Druck des Wassers senkrecht gegen die Platte gerade dem Gewichte gleich, welches die Platte unter Wasser noch

hat, nachdem sie, nach dem archimedischen Gesetze, so viel an ihrem Gewichte verloren hat, als ein gleiches Volumen Wasser wiegt. Läßt man etwas Wasser in das Röhrchen hinein, so wird der Druck von Innen größer, und man muß tiefer gehen, ehe die Platte festhält. Bei den Formen Fig. 173 und 174 muß das Glas an der Biegungsstelle gut abgerundet sein, damit es den Faden nicht so leicht zerreibt. Die Versuche beweisen das Vorhandensein des Drucks in den angegebenen Richtungen, und daß derselbe um so größer wird, je tiefer der Körper ins Wasser getaucht wird.

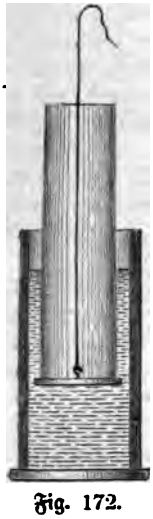


Fig. 172.

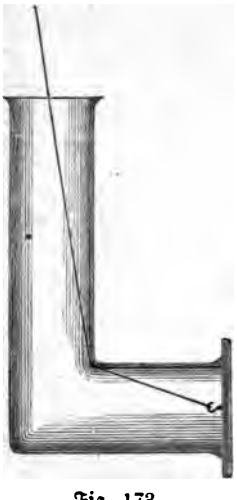


Fig. 173.

Fig. 174.

Seitendruck nenne ich den Apparat (Fig. 175). Ein 6 dm. langes, 5 cm. weites Glasrohr wird an einem Ende durch eine Metallfassung geschlossen; hat das Rohr schon einen Glasverschluß, so ist die Metallfassung nicht nöthig. Dicht über dem Boden wird seitwärts ein Loch von 2 mm. Durchmesser durch das Glas gebohrt. In der Mitte der Länge wird ein 2—3 cm. breiter Messingring von 3 mm. Metallstärke um das Rohr gelegt und festgekittet; an zwei diametral gegenüberstehenden Punkten des Metallringes werden kleine kegelförmige Vertiefungen eingebohrt, welche als Achsenlager dienen sollen. Auf einem Fußbrett werden nun zwei senkrechte Ständer errichtet, deren gegenseitige Entfernung 4—6 mm. größer ist als der äußere Durchmesser des Messingringes;

durch die Ständer werden zwei Schrauben geführt, die an den Enden in Spitzen auslaufen, welche von den gebohrten Hohlkegeln des Ringes aufgenommen werden. Die Schrauben werden in solcher Höhe angebracht, daß, wenn die Röhre in ihnen hängt, diese sich ungehindert herumdrehen kann; nach Außen hin werden die Schrauben mit breiten Köpfen versehen. Gießt man das Rohr voll Wasser, so neigt es sich unten nach der dem ausfließenden Wasserstrahl entgegengesetzten Seite.

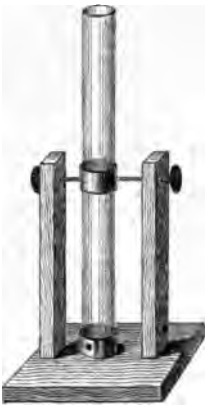


Fig. 175.

Das Rohr dieses Instrumentes läßt sich auch, wenn man beiderseits Häkchen daran anbringt, mittelst Fäden an einem festen Ständer aufhängen und bewegt sich dann mit weniger Reibung.

Das Instrument kann noch verbessert werden, wenn man die Wassermenge vermehrt, so daß man während des Versuchs nicht nöthig hat, nachzugießen. Man erreicht dies, wenn man das Rohr weiter und länger macht ohne die Ausflußöffnung zu erweitern, weil dann die Verminderung der Wassermenge, also der Wasserhöhe und damit der wirkenden Kraft langsam abnimmt. Eine Vergrößerung der Ausflußöffnung würde eine stärkere Neigung des Gefäßes zur Folge haben, demnach die Wirkung deutlicher zeigen; die Wasserhöhe nimmt dann aber schneller ab.

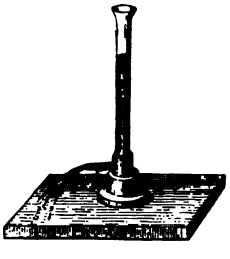


Fig. 176.

An folgendem Apparate bewirkt der Seitendruck eine progressive Bewegung. Auf einem Brettchen oder Schüsselchen (Fig. 176) steht ein senkrechtes Röhrchen fest; nahe am Boden hat es eine Seitenöffnung, in welche ein Röhrchen mit enger Oeffnung eingesetzt ist. Setzt man das Brettchen auf eine Wasseroberfläche in einem größeren, namentlich länglichen Gefäß und füllt das Röhrchen mit Wasser, so bewegt sich das Brettchen nach der dem ausfließenden Wasserstrahl entgegengesetzten Seite hin. Bei der Anfertigung dieses Instrumentes muß man darauf sehen, daß es beim Schwimmen eine stabile Gleichgewichtslage annehme, man muß also das Brettchen an der Unterfläche so stark beschweren, als es ohne unterzusinken vertragen kann.

4. Bramah's hydrostatische Presse.*)

Die hydrostratische Presse (Fig. 177) kann sehr wohl im Kleinen als Modell hergestellt werden; der im Folgenden beschriebene Apparat

*) Es ist auffallend, daß dieser Apparat durchweg in den Lehrbüchern

leistet das Mögliche und gewährt den Vortheil, daß sich der ausgeübte Druck genau nach Gewicht bestimmen läßt. Sie besteht aus dem hohlen Cylinder abcd und dem massiven Druckcylinder A; dieser schließt jedoch nur von ee aufwärts an die Wandung des Hohlcylinders an; unterhalb ee bleibt ringsum ein kleiner Zwischenraum frei. Ueber ee, bei nn, ist in der Wandung ein Falz, in welchen ein Ring von starkem, gebogenem Leder eingelegt wird. Der Cylinder oder Kolben

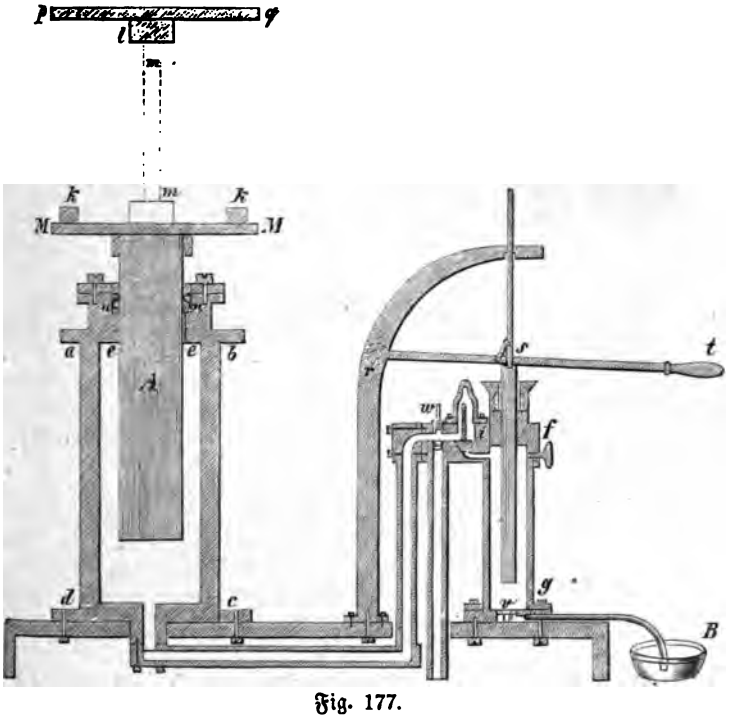


Fig. 177.

A trägt eine eiserne Platte MM, welche nach Vorn und Hinten Falze hat, in welche die an das Fußbrett befestigten Eisenschienen mm eingreifen, so daß diese dem Druckcylinder A und der Platte MM zur Führung dienen. Da die Zeichnung einen Durchschnitt darstellt, so liegen die Schienen mm außerhalb der Zeichenebene und bei der gewählten Richtung des Durchschnitts hintereinander. Die Schienen mm

---

„hydraulische" Presse genannt wird; da bei dieser Presse ausschließlich hydrostatische, keine hydraulischen Gesetze in Anwendung kommen, so muß ein solcher Fehlgriff gerügt werden. Die theoretischen Physiker haben sich hier von den bloßen Technikern verleiten lassen.

sind oben wieder an eine starke gußeiserne Platte pq geschraubt. An der Platte MM sind zwei vorstehende Eisenstücke kk, entweder in einem Stück mit ihr gegossen, oder doch fest damit verschraubt, an der Platte pq dagegen ist in der Mitte ein eben solches Eisenstück l.

Aus dem Gefäße B führt ein Rohr nach dem Pumpenstiefel fg; der Kolben dieser Pumpe schließt, wie der Druckkolben A, nur oben an die Wandung des Stiefels, und hat unten ein Ventil v; der Kolben wird durch den Hebel rst bewegt, saugt das Wasser aus B an und drückt es durch den freien Raum zwischen Kolben und Stiefel zum Druckventil in i, das bei jedem Druck des Kolbens gehoben wird und das Wasser hindurchläßt, beim Heben des Kolbens aber sich wieder schließt und das Wasser am Zurücklaufen hindert. Das Druckventil besteht aus einem kleinen Kegel, welcher durch eine messingene Drahtfeder in den Canal gedrückt wird. Bei w ist ein Sicherheitsventil in den

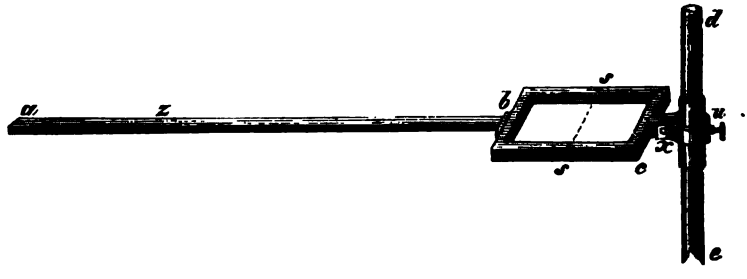


Fig. 178.

Canal eingefügt, bestehend aus einem Kegelventil, das mittelst eines Hebels durch ein Gewicht belastet wird; da dieses Gewicht aus der Durchschnittsebene heraustritt, so ist es in der Figur nicht sichtbar.

Das durch die Pumpe in den Cylinder abcd gedrückte Wasser drückt den Cylinder A in die Höhe; damit steigt die Platte MM. Legt man auf die Eisenstücke kk einen Stab von hartem Holz, so wird er, wenn er sich l nähert, durch diesen in der Mitte zwischen kk einen Druck nach Unten erleiden und dadurch zerbrochen werden.

Ich habe an meiner Presse eine Vorrichtung angebracht, womit man den Druck bestimmen kann. In den Mitten der Längsseiten der Platte MM sind auf dieser zwei Stahlschneiden angebracht, parallel den schmäleren Seiten der Platte und einander in gerader Linie gegenüberstehend. Dazu gehört nun ein geschlossenes Rechteck bc (Fig. 178) aus Eisen mit einer 1,5 m. langen Stange ab, die auf hoher Kante an die eine schmalere Seite des Rechtecks bc angeschmiedet ist; mit der Gegenseite ist eine Gabel fest verbunden die mit dem darin eingefügten Stück ein Gelenk x bildet; an dieses Eisenstück ist ein Ring u angeschmiedet, der auf die Halterstange de am Experimentirtisch paßt und durch eine Bremsschraube auf dieser in jeder beliebigen Höhe festgemacht

werden kann. Der aufgelegte Apparat bildet einen Druckhebel, der seinen Drehpunkt im Gelenk x hat. Setzt man die Presse in Thätigkeit, hängt an dem längeren Hebelarm bei z ein Gewicht P so an, daß der Druckkolben A während des Pumpens nicht steigt, so kann man leicht die wirkende Kraft der Presse finden, indem sie $Q = \frac{xz}{xs} . P$, wenn ss die unterstützenden Stahlschneiden bezeichnen, die in der Figur nicht zu sehen sind. Die theoretische Bestimmung dieser Größe ist aus den Lehrbüchern bekannt; bei genauer Bestimmung der betreffenden Maße werden beide Resultate nahezu übereinstimmen.

5. Segner's Rad.

Das Segnersche Rad ist eine Anwendung des Seitendrucks. Der Apparat besteht aus einer flachen, runden Schüssel von Zinkblech AB. (Fig. 179). Im Mittelpunkte des Bodens ist ein etwa 1 cm. hoher

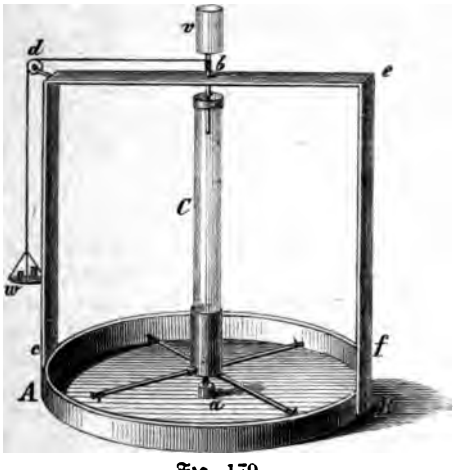


Fig. 179.

Cylinder a von Messing angelöthet, der an der Oberfläche eine hohl ausgedrehte Pfanne zur Aufnahme der Spitze einer Achse hat. Am Rande des Gefäßes wird der Rahmen cdef angeschraubt, der in der Mitte b des horizontalen Schenkels durchbohrt ist; er nimmt hier die Achse ab auf und dient dieser als Führung. Diese Drehachse ist der Cylinder C, der unten durch eine Metallfassung verschlossen wird; an die Schlußplatte der Fassung wird ein Messingcylinder gelöthet, der als Drehachse dient und dessen Spitze auf das Lager a zu stehen kommt.

Oben hat der Cylinder ebenfalls eine Fassung, aus einem Messingring bestehend, der auf den Rand des Cylinders gekittet ist; diese nimmt ein Querstück auf, das an die obere Fassung des Glascylinders C angelöthet ist. Es ist zweckmäßig, dem Glascylinder oben eine Erweiterung zu geben, damit man leicht Wasser nachgießen, oder aus einem höherstehenden Gefäß hineinlaufen lassen kann. Innerhalb der unteren Metallfassung ist der Cylinder an vier Stellen, die je 90° von einander abstehen, durchbohrt und die Fassung an denselben Stellen ebenfalls. An den durchbohrten Stellen ist die Fassung durch aufgelöthete Messingkörper verstärkt und die Bohrungen werden mit Schraubengewinden versehen. Man kann auch das Glas ungebohrt lassen und nur oberhalb der Bohrungen in der Fassung einkitten. Vier Glasröhren werden an beiden Enden mit messingenen Fassungen versehen, an die eine Fassung jeder Röhre wird eine Schraube geschnitten, welche in die in die Fassung des Cylinders geschnittene Schraube paßt, die andere wird so an die Röhre gekittet, daß sie über diese vorragt und durch eine Endplatte geschlossen. In diese letztere Fassung wird, jenseits des Glases, seitlich ein Loch gebohrt und auf dieses ein kleines Röhrchen mit enger Oeffnung aufgelöthet. Die vier Röhren werden endlich in die Fassung des Cylinders C geschraubt, so, daß die vier seitlichen Oeffnungen im Kreise herum alle nach derselben Seite hin gerichtet sind. Der Cylinder C wird nun mit der unteren Achse in das Lager a, mit der oberen in die Führung b gebracht, und mit Wasser gefüllt; der Cylinder wird sich dann durch den auf die Wände der Röhren ausgeübten Seitendruck den ausströmenden Wasserstrahlen entgegen drehen. Ich habe oben noch ein Glasgefäß v aufgesetzt, aus dessen Boden ein Röhrchen, das zugleich die Drehachse bildet, das Wasser in den Cylinder C führt. In das Gefäß v kann man entweder Wasser nachgießen oder auch aus einem höher stehenden Gefäß in das Gefäß v laufen lassen. Hat der Cylinder C oben eine Erweiterung, so ist dieses Gefäß nicht nöthig. Um die hebende Kraft der Drehung zu messen, befestigt man bei b einen Faden, der bei d über eine Rolle geht und Gewicht ein w, oder eine Schale, in die man Gewichte legen kann, trägt; der angehängte Körper wird gehoben werden. Sucht man das Gewicht, das nicht mehr gehoben wird, so giebt dieses die Kraft der Drehung an.

6. Communicirende Röhren.

Um das Gesetz der communicirenden Röhren darzustellen dienen Glasgefäße mit zwei Schenkeln; diese Schenkel haben theils gleiche, theils verschiedene Weite, in einigen stehen sie senkrecht zum Verbindungsstück, in anderen haben sie verschiedene Lagen, sind zum Theil überall gleich weit, zum Theil von verschiedener Weite. Man kann solche Röhren auch mit einem gemeinschaftlichen Gefäß zu einem einzigen Apparat vereinigen. (Fig. 180) S. 172 stellt ein Rohr mit Schenkeln ver-

schiedener Weite dar; ab ist ein senkrechter Messingstab, der in mm. getheilt ist und den Zeiger cd aufnimmt, der den gleichen Stand der Flüssigkeit in beiden Röhren zeigt.

Das Gesetz für verschiedene Flüssigkeiten in beiden Schenkeln beweist man dadurch, daß man in den einen Schenkel Wasser, in den anderen Quecksilber gießt. (Fig. 181); ab, cd stellen dasselbe vor wie in der vorhergehenden Figur; o ist das Niveau des Quecksilbers im einen, n das im anderen Schenkel; es ist also in jenem um mo höher, weil in diesem noch die Wassersäule nd über dem Quecksilber steht; vergleicht man mo mit nd, so findet man, daß nd $13^1/_2$ Mal länger ist als mo. Mohr schlägt vor, dieses letztere Gesetz dadurch zu zeigen, daß man zwei beiderseits offene Röhren durch einen Kork in einen Gummiballon führt (die Oeffnung desselben wird um den Kork herum fest zugebunden), dann die anderen Enden der Röhren in verschiedene Flüssigkeiten taucht, nachdem man vorher den Ballon zusammengedrückt hat; läßt man ihn wieder frei, so steigen beide Flüssigkeiten, durch den Luftdruck getrieben, je nach ihren specifischen Gewichten in die Höhe (Fig. 182). Es kommt hier aber eine dem nachzuweisenden Gesetz ganz fremde Kraft, der Luftdruck, in Anwendung. In der Schule dürfte der Versuch nur gemacht werden, Falls die Schüler durch einen propädeutischen Cursus mit dem Luftdrucke schon bekannt gemacht sind.

7. Der anatomische Heber.

Der anatomische Heber besteht gewöhnlich aus einem Blechgefäß mit seitlichem Druckrohr und über das Gefäß gebundener Blase. Damit kann man aber den wirklichen Druck experimentel nicht bestimmen, weil die Blase sich, wenn sie naß wird, ausdehnt und unter ihr Luft zurückbleibt Ich construire daher das Instrument in folgender Weise. Ein gegossenes, messingenes Gefäß A (Fig. 183) 12 cm. weit, 10 cm. hoch, wird inwendig sorgfältig cylindrisch ausgedreht; in dieses Gefäß wird ein Kolben K von einem hohlen Messingcylinder eingepaßt; das Seitenrohr BC wird aus drei mit Schraubköpfen versehenen, zum Aufeinanderschrauben eingerichteten Messingröhren angefertigt. Die oberste erhält noch einen kleinen Glastrichter. Man schiebt den Kolben K ganz auf den Boden des Gefäßes, gießt Wasser in die Röhre, so wird sich der Kolben bald heben. Ist derselbe fast ganz nach Oben gestiegen, so legt man ein größeres Gewicht (10 Kgr.) auf den Kolben und setzt soviel hinzu, um den Kolben am weiteren Steigen zu hindern. Hat man das Gewicht nicht in einem Stück, so muß man ein Brett auflegen und auf dieses die Gewichte so vertheilen, daß sie sich im Gleichgewichte halten. Aus der Weite des Gefäßes und Höhe der Röhre über dem Niveau des Wassers im Gefäße kann man den Druck berechnen und mit dem durch den Versuch gefundenen vergleichen. Ein kleiner, durch die Reibung veranlaßter Unterschied zwischen beiden Resultaten wird natürlich immer stattfinden.

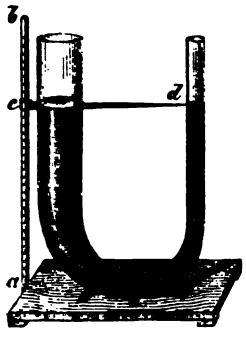


Fig. 180.

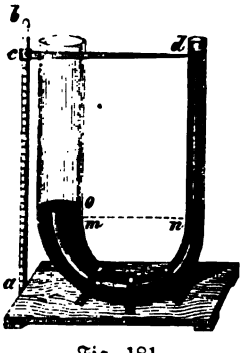


Fig. 181.

Fig. 182.

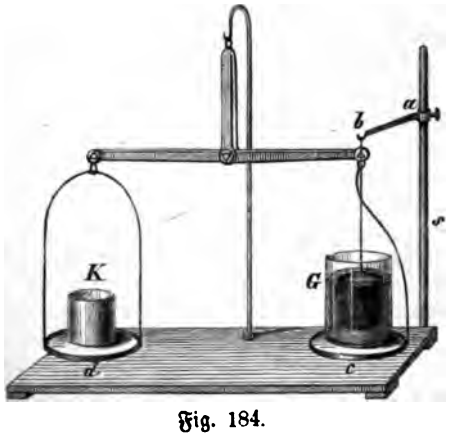


Fig. 184.

Fig. 183.

8. Der Galileische Versuch.

Hiezu bedient man sich des Glaskörpers (Fig. 86) S. 89; auf die eine Schale einer Wage setzt man ein Gefäß mit Wasser, bringt es durch Tara, die man auf die andere Schale legt, ins Gleichgewicht und hängt den an einem Faden befestigten Glaskörper ins Wasser. Man kann den Faden mit dem Finger festhalten oder an einem neben der Wage aufgestellten und mit einem Arm über die Schale derselben hinüberreichenden Ständer befestigen, wie (Fig. 184) zeigt, nur darf er mit der Wage selbst in keiner Verbindung stehen. Der Körper hängt hier an einem Arm ab, welcher am Ständer s höher oder tiefer gestellt werden kann. Man wird bemerken, daß die Schale c, auf der das Gefäß steht, sinkt.

Wollte man bestimmen, um wieviel diese Schale schwerer geworden, so müßte man einen regelmäßig geformten Körper anwenden, dann einen Hohlkörper K von derselben Form und Größe auf die andere Schale d stellen und mit tariren; dies ist in (Fig. 184) geschehen: in dem Glase G, das auf der Wagschale c steht, hängt der cylindrische, massive Körper, auf der Schale d steht der Hohlkörper K von gleicher Form und Größe mit jenem. Sobald der am Faden hängende Körper im Gefäße G ins Wasser taucht und die Schale c sinkt, gieße man das Hohlgefäß K voll Wasser; sogleich wird sich wieder Gleichgewicht herstellen. Dem Wasser wächst also ein Gewicht zu, das dem Gewichte des dem eingetauchten Körper gleichen Volumens Wasser gleich ist. Man wird sich auch leicht überzeugen, daß die Schale mit dem Gefäß gerade so viel schwerer wird, als der eingetauchte Körper an seinem Gewichte verliert, wenn er im Wasser abgewogen wird.

9. Archimedisches Gesetz.*)

Man verwendete sonst zur Anstellung dieses Versuches einen massiven und hohlen Cubikzoll von Messing. Da indeß Cylinder sehr viel leichter, daher auch genauer herzustellen sind als cubische, überhaupt eckige Körper, so würde ich vorschlagen, einen massiven und einen hohlen Cylinder von Messing machen zu lassen, so daß jener genau den Raum des letzteren ausfüllt. Bequem wird es sein, wenn der Raum eine ganze Anzahl Cubikcentimeter Inhalt hat, z. B. 20 c. cm.; dies erreicht man, wenn der Durchmesser der Grundfläche 2,94 cm. mißt und die Höhe des Cylinders ebenso groß ist, wie der Durchmesser; der Gewichtsverlust im Wasser beträgt dann 20 gr. Es muß darauf Rücksicht genommen werden, daß der massive Cylinder einen Haken oder Bügel zum Aufhängen bekommen muß, der beim Versuch wenigstens zum Theil mit untertaucht. Es muß deshalb in der oberen Fläche

*) Gewöhnlich heißt es „archimedisches Princip"; warum aber ein Gesetz nicht „Gesetz" heißen soll, ist mir nicht erfindlich.

des Cylinders eine kleine Höhlung angebracht werden, deren Rauminhalt gerade so groß ist, als der des unterzutauchenden Theils des Bügels.

Mit diesen Hülfsmitteln stellt man nun den Versuch in folgender Weise an. Man nimmt eine Wage (Fig. 185) und bringt auf der einen Seite des Balkens eine Schale mit kurzer Aufhängung und einem Häkchen an der Unterfläche derselben an, stellt auf diese Schale den hohlen Cylinder C, hängt den massiven M mittelst eines seidenen Fadens unten an das Häkchen und versetzt die Wage durch Tara ins Gleichgewicht. Man setzt dann ein Gefäß mit destillirtem Wasser unter den an's Häkchen gehängten Körper und senkt die Wage an der Halterstange so weit, daß der Körper ganz unter Wasser getaucht wird. Hier ist es besonders wichtig, daß die Wage keinerlei Drehung in der Horizontalebene annehmen könne, damit der eingetauchte Körper nicht, wie es sonst oft geschieht, sich an die Wand des Gefäßes anlege, weil dadurch seine freie Beweglichkeit gehindert wird. Die Seite der Wage, woran der eingetauchte Körper hängt, wird steigen, also leichter geworden sein. Um wieder Gleichgewicht herzustellen gieße man den hohlen Cylinder C voll Wasser; das Gleichgewicht tritt ein, sobald das Gefäß gerade voll Wasser geworden ist.

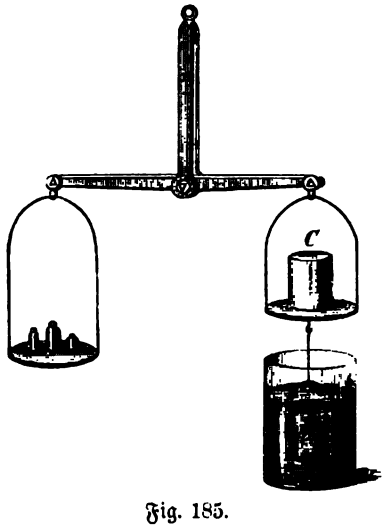


Fig. 185.

Soll dieser Versuch ganz genau stimmen, so muß man mit dem Hohlgefäß zugleich eine matt geschliffene Glasplatte tariren, mit der man nachher das mit Wasser gefüllte Gefäß zudeckt, um ganz genau das dem Hohlraume gleiche Volumen Wasser zu haben; dies ist aber der Fall, sobald keine Luftblasen unter der Glasplatte zurückbleiben. Wenn man bei der Füllung und Abwägung die Glasplatte anwendet, wird man zum Füllen den Hohlcylinder von der Wagschale fortnehmen und erst, wenn er fertig gemacht und von außen anhängendem Wasser gereinigt ist, wieder auf die Schale setzen. Macht man den Versuch ohne Glasplatte, so fülle man die letzten Portionen Wasser mit einer Pipette auf, die eine ganz feine Oeffnung hat. Man kann sich eine solche leicht verschaffen, wenn man eine Röhre von 5 mm. Weite zur feinen Spitze auszieht und die andere Oeffnung etwas enger zusammenzieht als sie ursprünglich ist, um das Wasser bequemer einsaugen zu können.

Durch den in (Fig. 186) schematisch vorgestellten Apparat kann man den Galileischen Versuch mit dem Archimedischen vereinigen. VW und XY stellen die Balken zweier Wagen vor, A,B und C,D ihre Schalen, wovon die eine C der Wage XY nach Außen stehen muß; die Schale B muß die kurze Aufhängung und unten ein Häkchen haben. An die Schale B hängt man den Körper k, auf B steht ein Gefäß a, dessen Inhalt dem Volumen des Körpers k gleichkommt, auf A legt man Tara, welche a und k das Gleichgewicht hält, während k in der Luft hängt; auf C wird ein beliebiges Gefäß mit Wasser gestellt, auf D ein Gefäß b, dessen Inhalt dem Volumen des Körpers k gleich ist, nebst der Tara, die nöthig ist, auch diese Wage XY ins Gleichgewicht zu bringen. Wenn nun beide Wagen einstehen, so senke man die Wage VW so weit, daß der Körper k ins Wasser des Gefäßes auf der Schale C hängt. Die Schale B wird steigen, C sinken. Gießt man dann a und b voll Wasser, so sind wieder beide Wagen im Gleichgewicht; oder nimmt man von A so viel Tara weg, daß VW

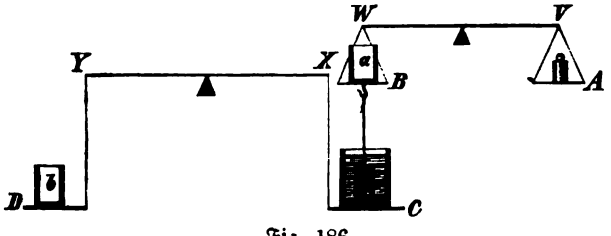


Fig. 186.

einsteht, und legt sie auf D, so steht auch XY ein. Das Gefäß b kann ein beliebiges Glas sein, an dem man den Raum, welchen ein dem Körper k gleiches Volumen Wasser einnimmt, durch eine Marke bezeichnet hat.

10. Schwimmende Körper.

Das Gesetz, daß jeder schwimmende Körper so tief eintaucht, daß das Gewicht des verdrängten Wassers dem Gewichte des Körpers gleich ist, läßt sich auf folgende Weise durch den Versuch constatiren. Man verschaffe sich ein cylindrisches oder prismatisches Gefäß, das oben mit einem Seitenröhrchen versehen ist (Fig. 187), fülle es bis an diesen Ausfluß mit Wasser und tarire es auf der Wage. Dann nehme man das Gefäß von der Wage und tauche einen Körper ein, der auf dem Wasser schwimmt, z. B. aus einer der dichteren Holzarten; es wird Wasser ausfließen; man fülle nun das Gefäß wieder genau voll und setze es sammt dem darauf schwimmenden Körper auf die Wage, so wird diese wieder einstehen ohne daß an der Tara etwas geändert worden. Damit nicht, wegen der Porosität des Holzes, die Luft der

Poren durch Wasser ersetzt werde, überziehe man den Holzkörper ein für allemal mit Firniß; der Versuch wird dann viel besser stimmen.

Den Einfluß der Lage des Metacentrums auf das Gleichgewicht schwimmender Körper zeigt man an einer Glasröhre ab (Fig. 188), die ohne Belastung auf Wasser schwimmt, indem man sie unten, bei b, wo sie geschlossen ist, durch eingegossenes Quecksilber beschwert. In das obere, offene Ende a der Röhre stecke man einen hohlen Cylinder von dünnem Messingblech mit Boden, so weit, daß, wenn er noch mit weichem Leder überzogen wird, er gerade in die Glasröhre paßt, darin zwar festsitzt, aber doch auch wieder leicht herausgenommen werden kann. Man stecke nun diesen Cylinder in die unten mit Quecksilber beschwerte Röhre ab; die Röhre wird etwas tiefer ins Wasser einsinken als ohne den Cylinder, ihr Schwerpunkt s wird höher zu liegen kommen, der Schwerpunkt m der verdrängten Flüssigkeit dagegen tiefer. Wenn der Körper sich seitwärts neigt, wie der schwimmende Körper in (Fig. 189), so dreht sich die Mittellinie ab, welche im Zustande des Gleichgewichts vertical steht, in eine gegen die Verticale geneigte Lage und schneidet die durch den Schwerpunkt n der verdrängten Flüssigkeit gehende Verticale in einem Punkte m, der eben das Metacentrum heißt. Wird der schwimmende Körper oben beschwert und hebt sich also sein Schwerpunkt s, so kommt er dem Metacentrum m näher zu liegen. So lange s noch unter m liegt, zieht die in der Verticalen ss' wirkende Schwere den gehobenen Theil des Körpers (in der Figur die rechts liegende Hälfte) abwärts; der Körper geht in die Lage des Gleichgewichts zurück, er schwimmt stabil. Sobald aber der Punkt s mit m zusammenfällt, kann der Körper sich rechts oder links drehen, gerade wie ein Körper, der im Schwerpunkte unterstützt wird, er ist in indifferentem Gleichgewicht. Liegt s über m, so muß der Körper sich links herum drehen, umschlagen, er war in labilem Gleichgewicht. Das Metacentrum bildet also für den schwimmenden Körper einen Drehpunkt. An dem in (Fig. 188) dargestellten Apparate kann man diese verschiedenen Lagen des Schwerpunktes und der verschiedenen Arten des Gleichgewichts dadurch zur deutlichen Anschauung bringen, daß man in den oben in die Röhre geschobenen Cylinder nach und nach immer mehr schwere Körper einbringt, Quecksilber, Schrotkörner ꝛc.; der Körper wird

Fig. 187.

Fig. 188.

dann von dem stabilen Gleichgewicht in's indifferente und labile übergehen. *)

Hier mag noch der Cartesianische Taucher erwähnt werden, da die Erscheinungen an demselben auf dem Gesetz über das Schwimmen und Untertauchen fester Körper in tropfbaren Flüssigkeiten beruhen. Die gewöhnlichen Taucher sind Glasfiguren sehr zerbrechlicher Art und manche derselben halten sich im Wasser nicht aufrecht, weil die Schwimmachse nicht in die geometrische Achse des hohlen Körpers fällt. Ich habe mir ein Glasröhrchen ab (Fig. 190a) dazu einrichten lassen. Es ist am einen Ende a geschlossen und erhält am anderen b, Schluß durch eine Messinghülse, um den Schwerpunkt etwas tiefer zu bringen. In der Nähe dieses Bodens ist das Rohr seitwärts durchbohrt und in die Bohrung ist ein ganz enges Glasröhrchen gekittet, das so gebogen wird, daß seine Oeffnung eine horizontale Lage erhält, wenn das ganze Instrument aufrecht steht. Nun füllt man einen Glascylinder A wie (Fig. 190b) bis etwa 2 cm. vom oberen Rande mit Wasser, setzt den Taucher darauf und überdeckt den Cylinder mit einer Gummiplatte, die man unter dem vorstehenden Rand des Cylinders durch mehrmaliges Umschlingen eines Bindfadens recht fest bindet. Drückt man dann die Gummiplatte mit dem Daumen ein, so verengt sich der Raum, welchen die über dem Wasser befindliche Luft einnimmt, die Luft wird dichter und drückt stärker auf das Wasser als vorher. Die Luft im Taucher hat aber nur die Expansivkraft der äußeren; daher treibt die Luft über dem Wasser so viel Wasser in den Taucher hinein, daß die in dem-

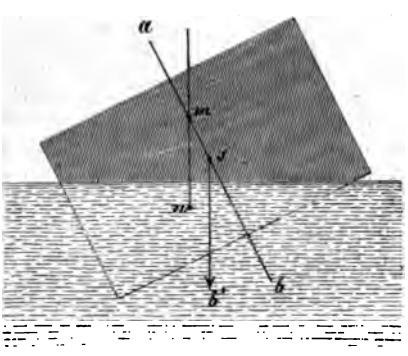


Fig. 189.

Fig. 190a.

Fig. 190b.

*) Es könnte hier noch der verschiedenen Arten Libellen gedacht werden, da sie beim Justiren der Instrumente in der Physik vielfach gebraucht werden; da ich sie aber in meiner „Geodäsie" pag. 188—203 ausführlich behandelt habe, so mag es genügen, darauf zu verweisen.

selben eingeschlossene Luft ebenfalls die größere Dichtigkeit der Luft über dem Wasser bekommt. Durch das eingedrungene Wasser wird der Taucher schwerer und, wenn er nur richtig gebaut ist, wird er nun schwerer als das Wasser, d. h. er wird im Wasser untersinken; ja, man hat es in seiner Gewalt, ihn sinken, oder im Wasser schweben, oder steigen zu lassen, je nachdem man die Gummiplatte mehr oder weniger tief eindrückt. Mäßigt man den Druck, der ihn zum Sinken brachte, so überwiegt der Druck der im Taucher eingeschlossenen Luft über die oberhalb des Wassers befindliche, treibt Wasser heraus, der Taucher wird leichter und steigt entweder, oder schwebt doch, wo man ihn gerade festhalten will, hoch im Wasser oder tief. Bei diesem Austreten des Wassers aber kommt das Princip des Segnerschen Rades, der Seitendruck in Anwendung, und da das Röhrchen, durch welches das Wasser austritt, horizontal seitwärts gebogen ist, so muß der Taucher sich nach der dem Ausfluß entgegengesetzten Richtung drehen. Eine Drehung in entgegengesetzter Richtung muß der Taucher machen, wenn man ihn zum Sinken bringt.

Nach längerem Gebrauch pflegt die Gummiplatte in der Mitte da wo der Druck mit dem Finger ausgeübt wird, durchzureißen. Man kann dem zuvorkommen, wenn man erst eine Platte von natürlichem Gummi über den Wassercylinder bindet, darauf in der Mitte eine Knopfform legt und nun noch eine Platte aus vulcanisirtem Gummi darüber bindet.

Das kleine Instrument ist zwar, wenn man so sagen will, nur ein Spielzeug; weil aber verschiedene physikalische Gesetze beim Gebrauche desselben mitwirken, so ist es instructiv und wohl werth, daß es beim Unterricht berücksichtigt werde. Es ist bequem, die ganze Zusammenstellung, wenn sie einmal gemacht ist, unverändert zu lassen und so für spätere Versuche aufzubewahren, also das Wasser in dem Cylinder stehen zu lassen. Aber gewöhnliches Brunnenwasser setzt nach einiger Zeit organische Materie ab, wird grün und gelb, und muß dann gewechselt werden. Länger hält sich filtrirtes Regenwasser. Wenn der Taucher ganz aus Glas bestände, könnte man dem Wasser etwas Alkohol zusetzen; diese Mischung würde auch unverändert bleiben, namentlich, wenn man auch hier destillirtes oder Regenwasser anwendet. Hat aber das Instrument eine Metallfassung, so würde sich der Kitt, womit das Glas in diese eingesetzt ist, bald auflösen. Es bleibt dann Nichts weiter übrig, als das Wasser von Zeit zu Zeit zu wechseln.

VII. Bewegung tropfbarer Flüssigkeiten.

Torricelli'sches Gesetz.

Die Grundlage aller hydraulischen Erscheinungen ist das Torricellische Gesetz über den Ausfluß der Flüssigkeiten, daß nämlich die Geschwindigkeiten des Ausflusses sich wie die Quadratwurzeln der Druckhöhen verhalten.

Es ist gewöhnlich schwer, wenigstens umständlich, einen immer gleichen Wasserdruck hervorzubringen. Mir dient zu diesem Zwecke die Mariotte'sche Flasche, die man freilich erst bei der Behandlung der Luft und Gase kennen lernt. Um aber während der Dauer eines Versuches einen wirklich gleichbleibenden Druck zu erhalten, habe ich den Verschluß der Flasche etwas abändern müssen. Ich wähle die Flasche (Fig. 191) so hoch wie möglich, jedenfalls ohne den Hals noch etwas über 64 cm. hoch und möglichst genau cylindrisch, damit Schichten von gleichen Höhen auch gleichen Rauminhalt haben. In die Mitte des Bodens wird ein 4—5 mm. weites Loch gebohrt, darüber ein Messingplättchen mit etwas engerer Oeffnung gekittet. Den Verschluß am Halse der Flasche bewirke ich in folgender Weise, da ein Kork keinen luftdichten Verschluß giebt. Der Rand des Halses wird eben abgeschliffen, so daß eine 6—8 mm. breite, ebene Fläche entsteht; dann wird eine 3 mm. dicke Messingplatte ab etwas größer geschnitten als der obere Rand des Halses ist; an die eine Seite dieser Platte wird in der Mitte eine Messinghülse cedd gelöthet, die ein wenig enger ist als der Flaschenhals im Inneren, so daß sie sich bequem in denselben einführen und wieder zurückziehen läßt; in diese Hülse wird ein guter, dichter Kork fest eingesetzt, auch wohl mit Schellackfirniß eingekittet; durch den Kork und die Platte bohrt man ein Loch, um ein starkes Glasrohr ef hindurchzustecken, so daß es darin luftdicht hält; man wird aber wohlthun, die Stelle wo das Rohr durch die Platte geht, etwas zu fetten. Ehe man nun die Platte mit Zubehör aufsetzt, bringe man etwas Fett auf die Fläche der Platte, auf welcher die Hülse sitzt, erwärme die Platte, damit das Fett soweit verläuft als sie den Flaschenhals berühren wird. Wenn das Fett flüssig ist, setze man die Platte auf und lasse sie erkalten bis das Fett fest geworden. Dadurch hat man einen absolut luftdichten Verschluß erreicht. (Fig. 191) stellt diesen Verschluß im Durchschnitt dar, (Fig. 192) in perspectivischer Ansicht.

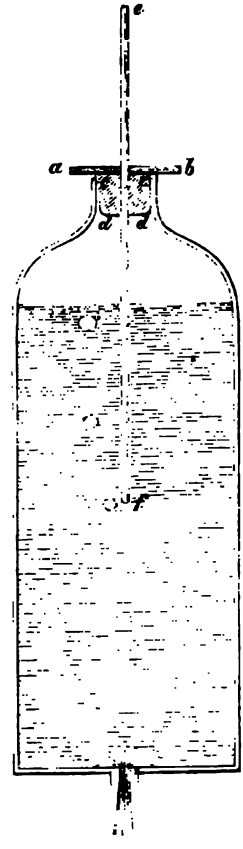


Fig. 191.

An der Außenseite der Flasche wird von der inneren Bodenfläche an ein Maßstab auf das Glas getragen, indessen werden nur die Qua-

dratzahlen in Cm. vermerkt, nämlich 1, 4, 16, 25, 36 . . . . Cm.; die Theilung ist in (Fig. 192) angedeutet, geht aber nur bis 16; die Flasche hätte höher gezeichnet, oder die Theile hätten kleiner genommen werden müssen. Ist eine vorhandene Flasche nicht so hoch und man will doch gerne den Versuch mit 36 oder 49 Theilen anstellen, so braucht man nur die Theile kleiner als cm. zu nehmen. Die Theilstriche werden mit Diamant ins Glas geritzt, dann mit rother Farbe (Mennige mit Leinölfirniß) übergezeichnet; es ist gut, die Zahlen deutlich dabei zu schreiben. Die Flasche wird auf einen dreifüßigen Schemel gestellt, in den man eine so weite Oeffnung gemacht hat, daß man mit der Hand leicht von Unten zu der Oeffnung im Boden kommen kann. Diese Oeffnung wird durch einen Kork verschlossen. Um die Flasche immer leicht so hinstellen zu können, daß die Oeffnung im Boden in die Mitte der Oeffnung im Schemel komme, zeichne man sich oben auf der Schemelplatte einen Ring, in den die Flasche gestellt wird.

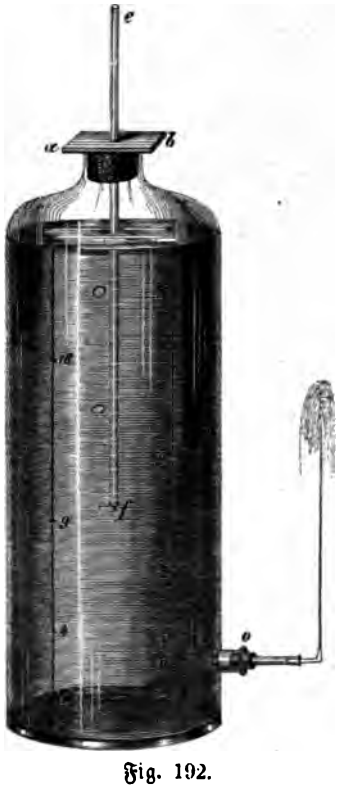


Fig. 192.

Bei den Versuchen muß die Zeit gemessen werden; hiezu bedient man sich des Pendels mit hörbarem Schlage. Man bringe dieses auf der, S. 130 beschriebenen, Vorrichtung (Fig. 123) an der Halterstange an; daß es genau Secunden schlage ist nicht nöthig; es ist jedoch zum Zählen bequem, wenn die Schläge ungefähr Secunden angeben.

Um nun einen Versuch über den Ausfluß des Wassers aus der Bodenöffnung zu machen, fülle man die Flasche bis über den obersten Theilstrich mit Wasser, setze dann den oben angegebenen Verschluß abdd (Fig. 191) in vorgeschriebener Weise auf und stelle die Röhre auf einen bestimmten Druck, wir wollen z. B. annehmen auf 25 cm, wozu das untere Ende der Röhre mit dem Theilstrich 25 in einer Höhe stehen muß. Nun setze man das Pendel in Gang und ziehe den Pfropfen aus der Bodenöffnung. Wenn das Wasser bis zum obersten Theilstrich gesunken ist, wir wollen annehmen, es sei der Strich 49, fange man an, die Pendelschläge zu zählen, indem man beim ersten

„Null" spricht. Die Zahl der Pendelschläge von da ab bis wo das Wasser bis zu dem Theilstrich 36 gesunken ist, lasse man anschreiben, zähle bei 36 wieder „Null", von da bis das Wasser beim Theilstrich 25 angekommen ist und merke sich auch diese Zahl Pendelschläge an.

Man schließe nun die Ausflußöffnung und nehme den Verschluß vom Hals der Flasche ab, fülle die Flasche wieder bis über Theilstrich 49, setze die Platte wieder luftdicht auf, senke aber die Röhre so weit, daß ihr unteres Ende dem Theilstrich 16 gegenübersteht, daß also dauernd ein Druck von 16 cm. Wasserhöhe auf das ausfließende Wasser wirkt, und mache ganz denselben Versuch, wie vorher beim Drucke von 25 cm. Hat man sich eben so die Pendelschläge, d. h. die Zeiten des Ausflusses zwischen den Strichen 49 und 36, dann zwischen 36 und 25 gemerkt, so kann man sie mit den Zeiten beim Druck von 25 cm. vergleichen. Fällt das Wasser beim Drucke von 25 cm. z. B. in 96 Secunden (d. h. hier Pendelschlägen, wenn es auch nicht genaue Secunden sind) von 49 bis 36, dagegen beim Drucke von 16 cm. in 120 Secunden durch dieselbe Höhe, so verhalten sich die Zeiten des Falles wie 4:5, also die Geschwindigkeiten wie 5:4, d. h. wie $\sqrt{25}:\sqrt{16}$ oder die Geschwindigkeiten des Ausflusses verhalten sich wie die Quadratwurzeln aus den Wasserhöhen, welches eben das Torricelli'sche Gesetz ist. Hätte man sich die Zeiten des Ausflusses von 36 bis 25 für dieselben Druckhöhen gemerkt, so würde man zu demselben Resultat gekommen sein, und ebenso für alle anderen Drucke.

Der Versuch läßt sich noch auf eine andere Art anstellen. Man nehme die Röhre e f aus der Mariotte'schen Flasche ganz heraus und gebrauche die Flasche als offenes Gefäß; während das Wasser aus der Bodenöffnung fließt, nimmt die Wasserhöhe und damit der Druck in jedem Augenblicke ab und ist stets gleich dem Gewicht einer Wassersäule vom Boden bis zum Wasserspiegel. Stellt man den Versuch im Uebrigen gerade eben so an, wie den vorigen, so wird sich ergeben, daß das Wasser vom Theilstrich 49 bis zum Theilstrich 36 in genau derselben Zeit ausfließt, wie von 36 bis 25, und wie von 25 bis 16, von 16 bis 9 u. s. w., daß also das Wasser zwischen je zwei auf einander folgenden Theilstrichen in derselben Zeit ausfließt. Die in gleichen Zeiten ausfließenden Wassermengen verhalten sich also wie die ungeraden Zahlen .... 13, 11, 9, 7, 5 .... (denn dies sind die Differenzen der Höhen, zwischen den Theilstrichen, oder die Abstände derselben), wenn die Druckhöhen sich wie .... 49 : 36 : 25 : 16 : 9 .... verhalten, ebenso verhalten sich dann die in gleichen Zeiten zurückgelegten Wege, d. h. die Geschwindigkeiten. Die Bewegung ist also dieselbe wie beim freien Fall, nur in umgekehrter Ordnung, das Wasser hat eine gleichmäßig verzögerte Bewegung, wie ein senkrecht in die Höhe geworfener Körper.

Wenn die Wege zwischen je zwei auf einander folgenden Theilstrichen in gleichen Zeiten zurückgelegt werden, jeder derselben etwa in

der Zeit t, so erfordert der Fall von 49 bis 0 eine Zeit = 7
Fall von 36 bis 0 6t, der Fall von 25 bis 0 5t u. s. w.; als
halten sich die Zeiten des Ausflusses wie die Quadratwurzeln au
anfänglichen Wasserhöhen. Wie die Zeiten verhalten sich aber
bei der gleichmäßig verzögerten, wie bei der gleichmäßig beschleu
Bewegung die Geschwindigkeiten; also folgt auch aus diesen Ver
wieder das Torricellische Gesetz.

Für den Ausfluß aus Seitenöffnungen muß man das
in der Nähe des Bodens seitlich durchbohren und ein Röhrchen
Oeffnung kitten. Es kann dies auf verschiedene Art geschehen; en
löthet man ein Messingröhrchen an eine Platte, welcher die Krüm
der Außenfläche des Gefäßes gegeben ist, und kittet diese an das
oder man verdickt das Glas der Gefäßwand um die Oeffnung
indem man die Wand flüssig macht und geschmolzenes Glas im
herum anlegt. Die Oeffnung wird in diesem Falle so groß ge
daß man einen gebohrten Kork einstecken kann; in den Kork steck
ein Glasrohr mit starker Wandung und über oder in dieses ein M

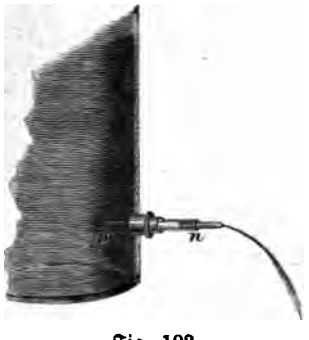


Fig. 193.

röhrchen, das man mit etwas Wer
einem anderen weichen Stoff au
Glasrohr befestigt; (Fig. 192 o);
Glasrohr weit genug, so kann m
Messingröhrchen auch in dieses ein
wie (Fig. 193) bei mn es darstell

Ein horizontaler Strahl bilde
Ausfluß eine Parabel. Es ist le
diese im Voraus für verschiedene
kräfte auf Pappe zu zeichnen, dan
Figur neben den ausfließenden
zu halten und mit diesem zu verg
Für $1^{dm.}$ Druckhöhe ist die hori
Geschwindigkeit $= 2\sqrt{g} = 14^{dm.}$
möge dieser Geschwindigkeit legt also der Wasserstrahl in 1 Se
in 2 Sec. 28, in 3 Sec. $42^{dm.}$ zurück u. s. w.; in der Verticalen
ihn die Schwere in 1, 2, 3 Sec. resp. durch 49, 196, $441^{dm.}$ u.
wonach der Ort eines Wassertheilchens nach dem Kräfteparallelo
leicht zu zeichnen ist. (Fig. 194) stellt diese Linien in verklei
Maßstabe (0,1 der wirklichen Größe) für 1, 4, $9^{dm.}$ Druckhöhe d
sich die horizontalen Geschwindigkeiten wie 1:2:3 verhalten. O
Oa'b'c'd'e', Oa"b"c"d"e" sind diese Wege der Wassertheilchen für die
5 Zeiteinheiten (eigentlich 5 Zehntelsecunden). Wegen des Luftwiders
und der Reibung des Wassers am Rande der Oeffnung wird sich
dings eine kleine Abweichung von der gezeichneten Linie zeigen, die
der Einsicht des Lernenden keinen Eintrag thut. Um diesen horizo
Wasserstrahl zu erhalten, wendet man ein Röhrchen wie (Fig. 195a) s
an; für den verticalen Strahl dient entweder das Exemplar (Fig.

oder c); in ersterem ist blos in die Seitenwand ein Loch o gebohrt, das man nach Oben richtet, dagegen in o noch ein enges Röhrchen an-

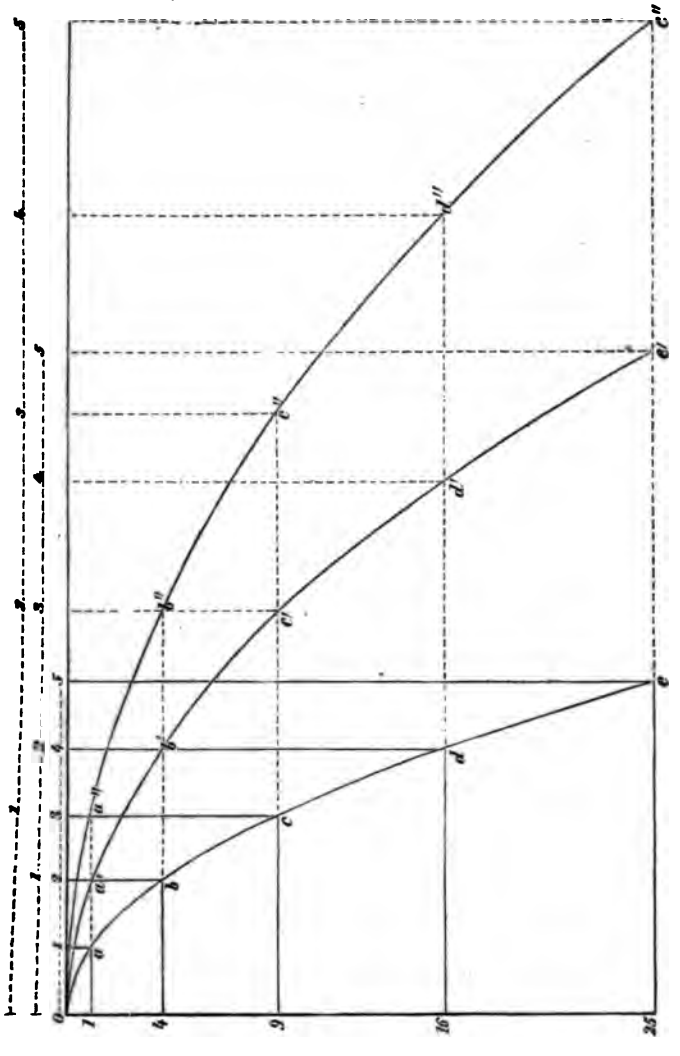


Fig. 194.

gesetzt ist. Die durch den verticalen Strahl erreichte Sprunghöhe wird höchstens 92 Procent der Druckhöhe des Wassers betragen, wobei noch die Widerstände möglichst gering gemacht werden müssen.

Das im Vorigen Besprochene dürfte wohl Alles sein, was man für den Unterricht aus diesem Gebiete wird gebrauchen können; denn Versuche über den Ausfluß aus Röhren von verschiedener Gestalt, so wie die Construction der verschiedenen hydraulischen Maschinen eignen sich aus verschiedenen Gründen nicht für den Schulunterricht: jene sind noch zu wenig auf bestimmte Gesetze zurückgeführt, haben also keinen formalen Nutzen; diese gehören dem reichen und schwierigen Gebiete der Maschinenkunde an, welche anderweitige Vorkenntnisse voraussetzt, als unter gewöhnlichen Verhältnissen angenommen werden können; beides endlich würde ein Zeitquantum in Anspruch nehmen, das besser auf Anderes, dem jugendlichen Fassungsvermögen zuträglicheres verwandt wird.

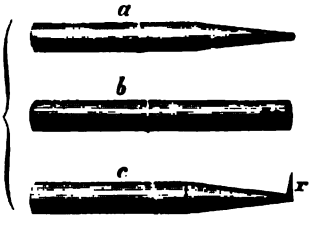


Fig. 195.

VIII Eigenschaften ausdehnsamer Flüssigkeiten.

1. Schwere der Luft.

a. Der Torricellische Versuch.

Fig. 196.

Der Hauptversuch ist hier der sogenannte Torricellische. Man nehme ein 10—12 cm. weites Gefäß von Porcellan, das fest steht (Fig. 196) (manche Porcellangefäße haben gewölbte Böden, die taugen hiezu nicht) und eine 80—90 cm. lange Glasröhre, die am einen Ende verschlossen ist; die innere Weite der Röhre sollte nicht unter 4 mm. betragen. In das Gefäß gieße man eine ausreichende Menge Quecksilber. Um durch den Versuch, auch ohne das Quecksilber auszukochen, ein einigermaßen richtiges Resultat zu erhalten, sorge man dafür, daß die Röhre inwendig rein sei und wende, wenn auch nicht absolut, doch möglichst reines Quecksilber an; es sollte jedenfalls einen blanken Spiegel an der Oberfläche bilden. Befinden sich in der Röhre Quecksilberreste von früheren Versuchen, die an den Wänden haften, so gieße man concentrirte Salpetersäure hinein, welche das Quecksilber auflöst; die Röhre muß dann wiederholt mit Wasser ausgewaschen werden. Jedoch dürfte man die Röhre hierdurch allein schwerlich ganz rein bekommen. Ich halte mir daher für Röhren, die am einen Ende verschlossen sind, einen steifen Draht, an welchem am einen Ende ein Läppchen unverrückbar fest gemacht werden kann, und für den einzelnen Fall

nach der Weite der Röhre eingerichtet wird. Um es so zu befestigen, daß es sich nicht in der Röhre abstreifen kann, bohre ich quer durch den Draht einige feine Löcher und nähe das umgewickelte Läppchen durch diese Löcher hindurch am Drahte fest. Man kann dasselbe auch erreichen, wenn man baumwollene Fäden umwickelt und sie mit einer Nadel ab und zu durch die Löcher durchzieht und endlich festbindet. Nachdem die Röhre innerlich mit Wasser oder auch Alkohol rein gerieben, wird sie noch mit Aether ausgewaschen. Vor dem Versuche muß die Röhre ganz trocken geworden sein, was man sofort erreicht, wenn man sie über der Spiritusflamme etwas erwärmt. Besser ist es, die Röhre nach einem damit gemachten Versuche, falls es nöthig, zu reinigen und sie im reinen Zustand zum nächsten Versuch aufzubewahren.

Zum Füllen der Röhre bediene ich mich nicht, wie manche Lehrbücher vorschreiben, eines Trichters, am wenigsten eines Papiertrichters. Quecksilber gießt sich bekanntlich sehr leicht in ziemlich enge Röhren; ich fülle daher etwas davon in eine kleine Porcellan-Casserolle mit Ausguß und gieße es daraus in die Röhre; wenn man nur eine feste, sichere Hand hat, gelingt es ohne daß auch nur das kleinste Tröpfchen nebenbei fällt.

Um an der Röhre und am eingegossenen Quecksilber haftende Luft und Feuchtigkeit möglichst, d. h. so weit als es ohne Erhitzen des Quecksilbers möglich ist, zu entfernen, wird man zuerst etwa 1 cm. der Röhre von Quecksilber frei lassen, die Röhre mit dem Finger verschließen und mehreremal umkehren; die durch das Quecksilber aufsteigende Luftblase wird dann die vorhandene Luft und feuchten Dämpfe an sich reißen und, wenn die Oeffnung wieder nach Oben gekehrt ist, sich mit der übrigen Luft oben an der Oeffnung ansammeln. Man fülle dann die Röhre ganz voll Quecksilber, verschließe sie mit dem Finger und tauche die Oeffnung unter die Oberfläche des Quecksilbers. Nimmt man dann den verschließenden Finger von der Oeffnung fort, so fällt das Quecksilber in der Röhre, und der Abstand des Niveaus im Gefäße vom Niveau in der Röhre giebt das Maß des Luftdrucks. Um diesen Abstand bequem messen zu können stelle ich das Gefäß unter den Arm der Halterstange, klemme oben die Röhre in eine der Hohlkehlen und schließe sie mit dem Riegel fest; da sie nun von selbst steht, so kann man die Höhe der Quecksilbersäule bequem mit einem geeigneten Maßstab messen. Man wird sie nur wenig geringer als den Barometerstand zur Zeit des Versuches finden.

Wenn nach dem Versuche die Röhre vom Quecksilber entleert werden soll, so hebe man sie nur wenig über das Quecksilber empor und tauche sie sofort wieder unter; das Quecksilber fließt dann von Oben nach und kann nicht herumspritzen. Findet man die Röhre rein und klar, so verschließe man sie mit einem Kork und verwahre sie bis zum nächsten Versuch. Scheint die Röhre unrein zu sein, so nehme man die Reinigung sofort damit vor.

b. Auf dem Luftdrucke beruhen die Pipetten oder Stechheb
deren es jetzt in verschiedenen Formen giebt (Fig. 197—199). D
Physiker braucht solche mit weiterer und andere mit engerer Oeffnu
am unteren Ende der Röhre. Eine andere Art bilden die mit ei
Gummiplatte überbundenen (Fig. 199); drückt man die Platte mit d
Finger ein, taucht dann das Röhrchen in die auszuhebende Flüssig

Fig. 197.

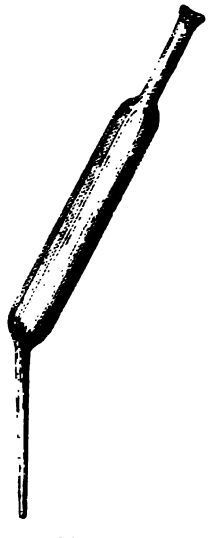


Fig. 198.

Fig. 199.

und läßt die Platte sich wieder frei zusammenziehen, also den inn
Raum wieder vergrößern, so tritt Flüssigkeit in die Röhre, kann we
des größeren Luftdrucks von Außen, nicht wieder ausfließen, ehe m
nicht die Gummiplatte wieder eindrückt. Sehr bequem sind die Pipe
mit Gummiballon oben an der Oeffnung (Fig. 200). Um Flüssi
einzufüllen drückt man den Ballon zusammen, steckt das Rohr in
Flüssigkeit und läßt den Ballon wieder frei sich ausdehnen; sofort st
Flüssigkeit hinein. Soll die Pipette entleert werden, so braucht m
nur den Ballon zusammenzudrücken.

c. Der intermittirende Brunnen besteht aus einem Gefäß A, wofür wir in (Fig. 201) S. 188 einen Glasballon gewählt haben, das sich oben mit einem eingeschliffenen Stöpsel a schließen läßt; sollte der Stöpsel nicht völlig luftdicht schließen, so wird er mit etwas Talg eingerieben. Nach Unten verlängert sich das Gefäß zu einem Rohr, an welches eine messingene Fassung bc angekittet wird. Diese Fassung hat etwa in der Mitte einen Theil, der im Metalle stärker ist; dieser ist im Kreise herum mehrmals durchbohrt, in die Bohrungen sind Röhrchen d, e u. s. w. eingesetzt. Durch dieselbe Fassung bc ist ferner das Rohr rs geführt und fest darin eingekittet; der Dauerhaftigkeit wegen wird das Rohr rs am besten aus Messing gemacht. Unten bei s wird es in eine passende Hülse h gesteckt, die auf vier Füßen in der Schüssel BC steht; das Rohr rs führt durch die Hülse h hindurch bis nahe an den Boden der Schüssel, ohne jedoch diesen zu berühren; der Boden muß sich aber nach der Mitte hin etwas senken, damit in der Schüssel vorhandenes Wasser sofort nach dieser Stelle hin fließt. An der tiefsten Stelle unter dem Ende o des Rohrs rs, ist ein enges Röhrchen i in den Boden eingesetzt, durch welches angesammeltes Wasser abfließen kann. Die Schüssel BC hat drei Füße, so daß eine zweite Schüssel DE darunter gesetzt werden kann, welche das aus der oberen abfließende Wasser auffängt. Es wird den Apparat handlicher machen, wenn man ihn unterhalb des Ringes, in welchen die Röhrchen d, e, ... eingelöthet sind, zum Abschrauben einrichtet, so daß der obere Theil des Rohrs rs in der oberen, der untere Theil in der unteren Hälfte der Hülse bc fest bleibt. Statt einer Schraube anzubringen reicht es auch hin, wenn beide Theile etwas konisch und in einander passend ausgedreht sind.

Fig. 200.

Beim Versuche gießt man oben durch die Oeffnung, nachdem der Stöpsel a entfernt worden, Wasser in das Gefäß A, setzt aber sogleich den Stöpsel wieder luftdicht auf. Das Niveau des Wassers kann bis nahe an das Ende r des Rohrs rs reichen. Während des Eingießens wird etwas Wasser durch die Röhrchen d, e ... abfließen;

da aber die Röhrchen nur eng ſind, ſo wird es nur wenig ſein. Da durch das Röhrchen o und das Rohr rs von Unten nach Oben hin

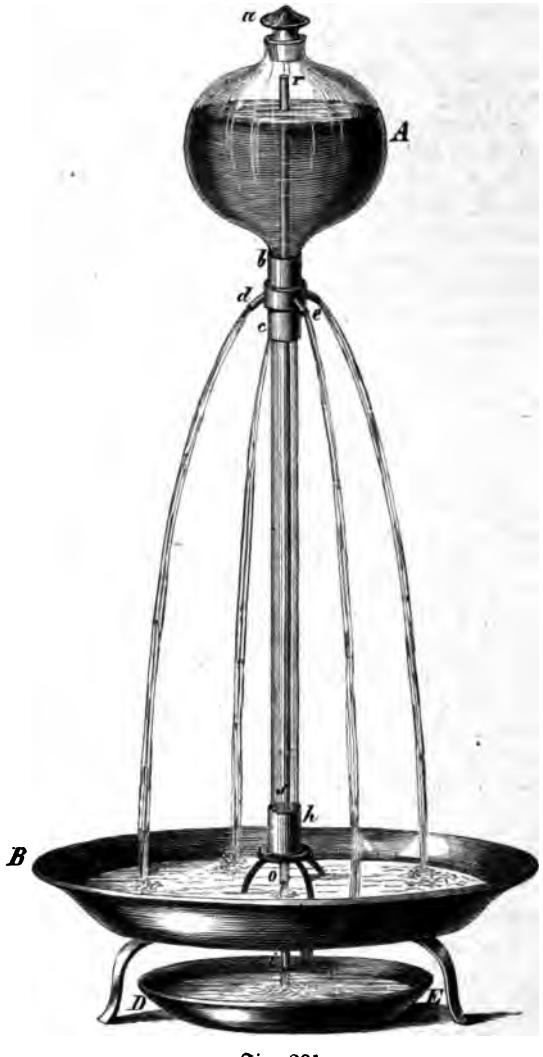


Fig. 201.

die Luft freien Zutritt zu dem Ballon A hat, ſo wird durch d, e,.... auch noch Waſſer abfließen, wenn der Stöpſel a ſchon aufgeſetzt ſein

wird. Das ausgeflossene Wasser fließt zwar durch das Röhrchen i im Boden der Schüssel BC nach der Schüssel DE ab; aber da die Abflußöffnung nur eng ist und nicht so viel Wasser abfließen läßt als durch die Röhrchen d, e, ... geliefert wird, so sammelt es sich bald an, erreicht die Oeffnung o des Röhrchens in der Hülse h, verschließt diese Oeffnung gegen den Luftzutritt und der Wasserausfluß aus d, e . . . . hört auf. Das Wasser fließt nun aus der Schüssel BC stetig ab, die Oeffnung o wird wieder frei, die Luft kann durch o und das Rohr rs wieder nach dem Ballon A gelangen, der Ausfluß aus den Röhrchen d, e . . . fängt von Neuem an und dauert so lange fort, bis die Oeffnung o wieder durch Wasser gegen den Zutritt der Luft abgesperrt ist. Das Wasser wird also in regelmäßigen Zeitintervallen ausfließen und am Ausfluß gehemmt sein, also intermittiren. Zum Gelingen des Versuches kommt es ganz besonders darauf an, das Instrument vertical zu stellen; auf der Platte (Fig. 108) ist dies am leichtesten zu erreichen.

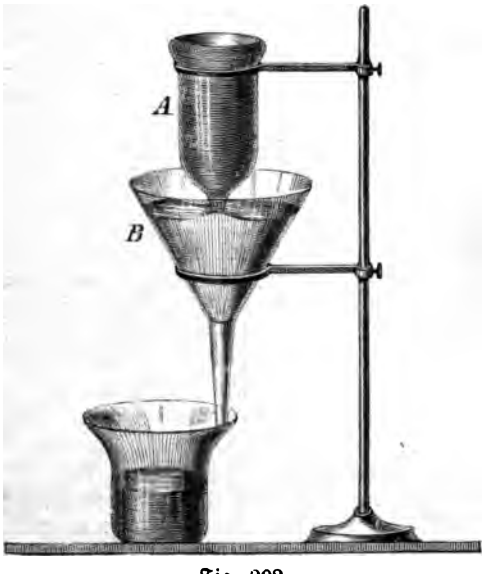


Fig. 202.

d. Der selbstarbeitende Filtrirapparat (Fig. 202) besteht aus einer Flasche A, in welcher die zu filtrirende Flüssigkeit enthalten ist; man stülpt sie über einen mit derselben Flüssigkeit gefüllten Trichter mit Filtrum B so, daß der Flaschenhals nur wenig untertaucht. Man kann auch mittelst eines Korkes ein Glasrohr im Flaschenhals anbringen und das Ende dieses Rohrs in die Flüssigkeit im Trichter tauchen.

Es wird aus der Flasche erst dann Etwas in den Trichter laufen, wenn die Oberfläche unter die Oeffnung gesunken ist. Man kann also den Fortgang des Filtrirens so lange sich selbst überlassen, als noch Flüssigkeit in der Flasche enthalten ist.

e. Ein recht artiger, ebenfalls auf dem Luftdruck beruhender Versuch wird von Weinhold beschrieben. Man nehme zwei Probirröhren, wie Fig. 27 S. 25, von denen sich das eine in das andere schieben läßt, so daß der Zwischenraum nur ziemlich eng, höchstens 2 mm. bleibt; in das weitere fülle man Wasser und stecke das engere hinein. Indem man das äußere Röhrchen mit der einen, das innere mit ein paar Fingern der andern Hand festhält kehre man das Ganze schnell um, lasse dann das innere Röhrchen frei, so steigt es ganz von selbst im weiteren in die Höhe und zwar mit beschleunigter Geschwindigkeit, während durch den Zwischenraum zwischen beiden Röhrchen das Wasser nach und nach ausfließt. Das im weiteren Röhrchen über dem engeren befindliche Wasser nebst dem Gewicht des inneren Röhrchens beträgt nicht so viel wie der auf letzteres von Unten nach Oben wirkende Luftdruck, der einer Wassersäule von 10 m. das Gleichgewicht halten könnte.

Fig. 203.

f. Der Heber (Fig. 203) besteht aus einer gebogenen Röhre abc von Glas oder Metall, aus letzterem jedoch nur, wenn die Flüssigkeit, mit der der Heber in Berührung gebracht wird, das Metall nicht angreift; für Säuren muß man immer Heber aus Glas gebrauchen. Die Röhre kann unter einem rechten oder spitzen Winkel, oder im Bogen zu zwei parallelen Schenkeln gebogen sein; allemal aber muß der eine Schenkel länger als der andere sein. Steckt man den kürzeren Schenkel ab unter die Oberfläche mn einer Flüssigkeit und saugt bei c die Luft aus der Röhre heraus, so füllt sich der Heber in beiden Schenkeln mit der Flüssigkeit an, und diese fließt so lange zum längeren Schenkel heraus, als der kürzere noch untergetaucht ist. Damit während des Ausfließens der Heber einen Halt bekomme wird er in eine Korkzange d gefaßt, die sich an einem festen Ständer befindet.

Da man den Heber gewöhnlich mit dem Munde ansaugt, so kann man leicht Etwas von der Flüssigkeit in den Mund bekommen; man macht daher für solche Fälle ein Nebenrohr daran an, und da auch dieses sich leicht füllt, so giebt man demselben eine kugelförmige Erweiterung (Fig. 204). Beim Ansaugen muß dann die freie Oeffnung mit dem Finger zugehalten werden. Ist die Flüssigkeit ätzend, so hält

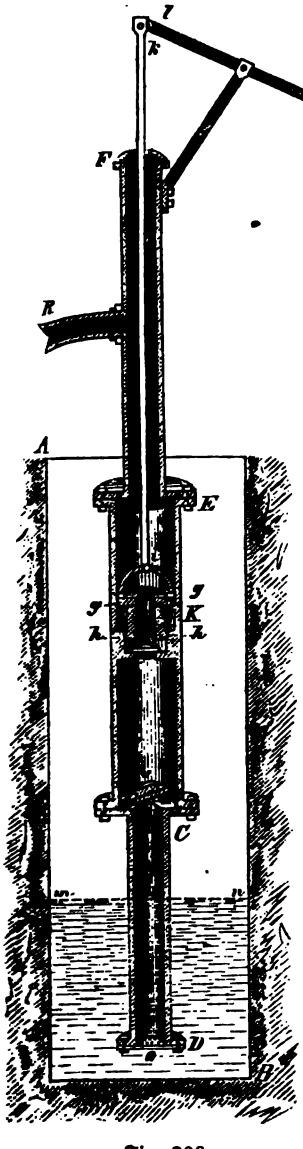


Fig. 206.

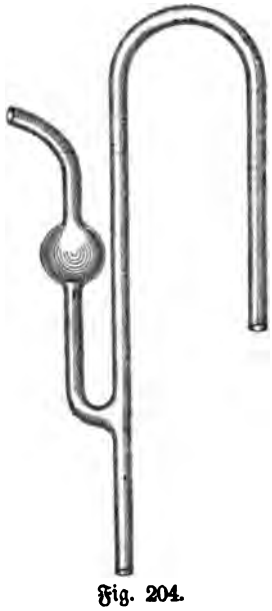


Fig. 204.

Fig. 205.

man einen Kork davor und entfernt diesen erst, wenn die Flüssigkeit das längere Rohr gefüllt hat.

Um zu beweisen, daß die Erscheinungen am Heber auf dem Luftdrucke beruhen, fülle man Wasser in eine Flasche mit etwas weiter Oeffnung, verschließe diese mit einem Korke, durch welchen das kürzere Rohr eines einfachen Hebers geführt wird; durch eine zweite Bohrung stecke man ein Glasröhrchen das nur bis zur inneren Fläche des Pfropfs reicht und das man auswendig gerade lassen, oder auch rechtwinklig umbiegen kann. Reicht nun der Heber in das Wasser hinein, so kann man ihn auch dadurch zum Laufen bringen, daß man in das Röhrchen hineinbläst. Läuft der Heber und man verschließt das Seitenröhrchen mit dem Finger, so hört er auf zu laufen.

g. Die Pumpen. Die Art, wie bei den Pumpen der Druck der Luft zur Anwendung kommt, wird am deutlichsten durch die sogenannte Spritze gezeigt. Ein Kolben mit Griff paßt genau in eine Röhre (Fig. 205), die sich am einen Ende verengt. Taucht man die enge Oeffnung unter Wasser und zieht den Kolben in die Höhe, so drückt die Luft zwar von Außen auf das Wasser, in der Röhre aber kann unter dem Kolben kein Luftdruck stattfinden; durch diesen einseitigen Druck wird das Wasser in die Spritze hinein gedrängt und muß sich auch darin erhalten, auch bei nach Unten gekehrter Oeffnung, wenn diese nur eng genug ist, um nicht neben dem Wasser Luft über das Wasser in die Höhe steigen zu lassen. Man findet solche Spritzen von Glas vorräthig, da sie zu mediciniſchen Zwecken gebraucht werden.

Eine eigentliche Saugpumpe ist in (Fig. 206) dargestellt. In dem Brunnen AB befindet sich Wasser bis zu einer gewissen Höhe mn und erneuert sich immer wieder, wenn es abgepumpt worden, indem der hydrostatische Druck es immer in gleiche Höhe mit dem Niveau des nächsten Gewässers (Flusses oder Sees) hebt. Unter den Spiegel dieses Wassers wird der Brunnenstock versenkt und, je nach der Oertlichkeit, auf die eine oder andere Art befestigt. (Die Befestigung ist in unserer Figur fortgelassen). Das Rohr besteht wenigstens aus drei Theilen, dem untersten CD, welches Saugrohr heißt, dem mittleren CE in welchem der Kolben K auf- und niederbewegt wird, und dem obersten EF, in welches das Wasser durch den Kolben gehoben wird. Das Saugrohr CD darf nicht über 10 m. hoch sein und wird gewöhnlich viel niedriger gemacht; der mittlere Theil CE wird weiter gemacht als das Saugrohr, um die Luft im Saugrohr beim Heben des Kolbens desto mehr zu verdünnen, und darf nicht höher sein, als der Weg, um den der Kolben bei einer Hand- oder Armbewegung eines Menschen gehoben werden kann. Der oberste Theil EF mit der Ausflußröhre R wird wieder enger gemacht und muß diejenige Höhe bekommen, welche nöthig ist, um die Ausflußröhre in schickliche Höhe über den Erdboden zu bringen, wird also auf hohem Terrain, wo die Brunnen immer

tief sind, aus mehreren Stücken zusammengesetzt werden müssen und weit in den Erdboden hinein reichen.

Die Eintrittsöffnung des Wassers unten am Saugrohr kann das Ende des Rohrs selbst oder eine seitlich gebohrte Oeffnung sein, je nach der Befestigung des Brunnenstocks, jedenfalls aber wird sie, zur Abhaltung von Unreinigkeiten, durch ein Sieb überdeckt. Am unteren Ende des Kolbenrohrs wird ein sich nach Oben öffnendes Ventil v, das Bodenventil, angebracht, gewöhnlich ein Klappenventil; der Kolben wird von Oben nach Unten in der Richtung seiner Längenachse durchbohrt, oben auf diese Durchbohrung wird eben solch Klappenventil w, das Kolbenventil, gesetzt, das sich gleichfalls von Unten nach Oben öffnet. Besser ist es indeß, wie es in (Fig. 206) geschehen, das Ventil unten am Kolben anzubringen, weil der Canal im Kolben, wenn er sich unter dem Ventil befindet, nie ausgepumpt, d. h. nie von Luft frei gemacht wird. Der Kolben muß dann aus zwei Theilen bestehen, die zusammengeschraubt werden; an der oberen Fläche des unteren Theils wird das Ventil aufgesetzt; natürlich muß innerhalb des Kolbens genug freier Raum vorhanden sein, daß sich die Ventilklappe heben kann. Für Modelle sind Ventile in der Form von (Fig. 207, A u. B) zweckmäßiger als die gewöhnlichen Klappen; ab ist eine mehrfach durchbohrte Platte, cc eine andere Platte, die auf der ersten aufliegt und zur Führung den Stiel d bekommt, der durch ein etwas weiteres Loch in der Platte ab geht; unten wird an d ein Knöpfchen angesetzt, welches verhindert, daß cc weiter steige als es nöthig ist. A zeigt das Ventil geschlossen, B offen.

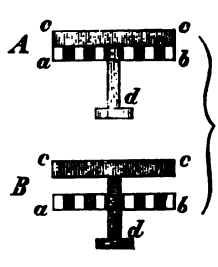


Fig. 207.

Die am Kolben K (Fig. 206) bei gg, hh vorstehenden Wülste lassen einen dünneren Cylinder zwischen sich, der mit Werg so umwickelt wird, daß er noch etwas vor g und h vorsteht und dicht an die Wand des Rohrs anschließt; durch dichteres Anschrauben der Platte gg kann der Anschluß an das Pumpenrohr vollkommener gemacht werden. An den Kolben wird oben ein Bogen ee angelegt und fest mit der Platte verbunden; bei i wird die Kolbenstange ik eingelenkt; durch einen Hebel ll' wird die auf- und abwärtsgehende Bewegung des Kolbens bewirkt.

Das Spiel der Pumpe ist nun sehr einfach: beim Aufziehen des Kolbens K muß das Wasser durch das Bodenventil v hindurchströmen, weil auf die äußere Wasserfläche mn der volle Luftdruck wirkt, innerhalb des Pumpenrohrs aber, zwischen u und dem Kolben K, ein verminderter Luftdruck, da durch das Aufziehen des Kolbens der Raum der im Saugrohr enthalten gewesenen Luft vergrößert ist. Beim Herunter-

stoßen des Kolbens stößt das Kolbenventil w gegen das Wasser, welches ins Kolbenrohr gestiegen ist und nach Unten keinen Ausgang mehr hat, da es durch sein Gewicht das Bodenventil v schließt. Das Kolbenventil w hebt sich also, das Wasser strömt darüber und schließt dann auch dieses durch sein Gewicht. Reicht das so heraufgehobene Wasser bis an das Ausflußrohr R, so findet es da einen Weg nach Außen. Ist es aber nicht so hoch gestiegen, so muß man den Kolben abermals in die Höhe ziehen und damit das bereits im Pumpenrohr vorhandene Wasser um den Pumpenhub in die Höhe heben, und diese Operation so lange fortsetzen, bis das Wasser an die Ausflußröhre R reicht. Ist die Höhe beträchtlich, so erfordert das Pumpen eine bedeutende Arbeit.

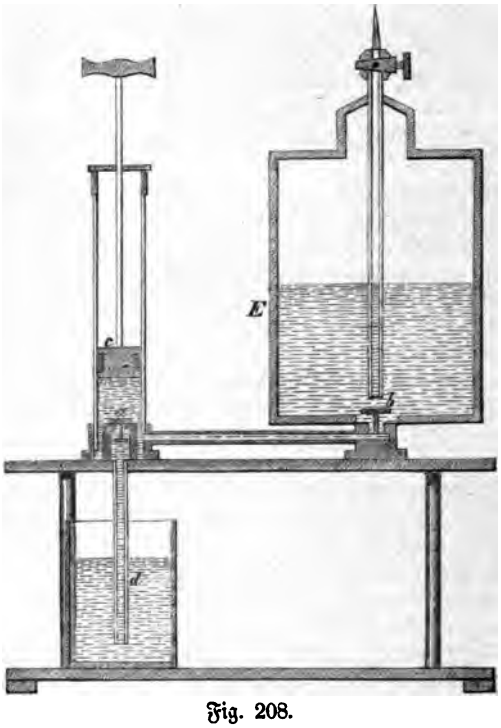


Fig. 208.

Druckpumpen haben kein Saugventil, über die untere Oeffnung des Kolbenrohrs nur eine siebartige Platte, der Kolben ist massiv und vom unteren Theil des Kolbenrohrs geht ein Seitenrohr, das Steigrohr, mit einem Druckventil ab. Man kann zweckmäßig damit einen

Heronsball verbinden, der einen bedeutend hohen Strahl liefern wird, wenn alle Fugen gut schließen. (Fig. 208) stellt ein vereinigtes Saug- und Druckwerk vor, wo a das Saug-, b das Druckventil ist; c ist der Kolben, d das Saugrohr; das Wasser wird beim Niedergang des Kolbens nach dem Gefäß E gedrückt, welches einen Heronsball vorstellt, zugleich auch die Feuerspritze veranschaulicht.

h. Die Mariotte'sche Flasche beruht ebenfalls auf dem Drucke der Luft, muß also hier erwähnt werden; ihre Einrichtung ist schon oben nach (Fig. 191) beschrieben worden. Durch die Versuche soll bewiesen werden, daß der constante Druck dem Gewichte einer Wassersäule gleich ist, deren Höhe gleich dem Abstande der unteren Oeffnung der Röhre von der Ausflußöffnung, mag diese im Boden oder in der Seitenwand angebracht sein. Den experimentellen Beweis für die Unveränderlichkeit des Drucks liefert der Versuch, wobei man das Wasser durch eine seitliche Oeffnung ausströmen läßt, denn ein solcher Wasserstrahl geht immer bis zu derselben Weite, bildet stets dieselbe Parabel, so lange die Höhe der Röhrenöffnung dieselbe bleibt. Der Druck ist also bei constantem Abstande des Röhrenendes von der Ausflußöffnung ebenfalls constant.

Der Nachweis für die Größe des Drucks hat einige Schwierigkeit, da außer der Schwere noch eine zweite Kraft, die Adhäsion, mitwirkt; einigermaßen kann die auf Papier gezeichnete Parabel, deren oben beim Wasserausfluß erwähnt wurde (es muß Fig. 194 in natürlicher Größe gezeichnet werden), aushelfen, nur daß eben die vom Strahl beschriebene Parabel nicht genau mit der gezeichneten übereinstimmen kann. — Man kann aber auch folgenden für die Gleichheit des Drucks entscheidenden Versuch anstellen: man stelle die Röhre in irgend einer Höhe fest, bei welcher überhaupt ein erheblicher Ausfluß aus dem Boden stattfindet, bei der er aber auch längere Zeit andauern kann; dann lasse man den Ausfluß beginnen und zähle von Anfang an die Pendelschläge. Nach einer nicht zu kurzen Zeit (etwa 1 Minute) wechsle man das Auffanggefäß und lasse das Wasser wieder ebenso lang in dieses zweite Gefäß fließen; endlich vergleiche man die ausgeflossenen Wassermengen; sie werden gleich groß sein, folglich muß auch der Druck derselbe geblieben sein. Zur Vergleichung der in gleichen Zeiten ausgeflossenen Wassermengen dient das Gewicht derselben; leichter gelangt man dazu, wenn man ein cylindrisches, graduirtes Gefäß anwendet, wie man deren jetzt zur chemischen Analyse (Titrirmethode) überall in den Magazinen vorräthig findet; dann braucht man das Gefäß gar nicht zu wechseln und erspart sich die Mühe des Wägens.

i. Das Barometer. Das Barometer ist ein so wichtiges Instrument, daß eine Schulsammlung die wesentlicheren Formen desselben besitzen müßte: ein gewöhnliches Gefäßbarometer, ein genaues Heberbarometer, auch wohl ein Huyghens'sches Doppelbarometer, weil dasselbe vielfach im Gebrauch ist; Radbarometer sind zwar in England häufig,

in Deutschland aber selten; kann man der Sammlung eines einverleiben, so ist es der Anschauung halber nicht zu verachten; allzuviel Geld sollte man aber nicht darauf verwenden.

Bei der Anschaffung eines Barometers hat man auf folgende Punkte zu achten. Die Röhre darf nicht zu eng sein; unter 4 mm. im Lichten sollte sie auch bei einem gewöhnlichen Gefäßbarometer nicht kommen. Bei einer weiten Röhre ist die Capillardepression geringer, und bei Gefäßbarometern kommt sie gerade in Betracht, weil sie nicht durch die des kurzen Schenkels, der ja zum Gefäß erweitert ist, aufgehoben wird. Es giebt aber noch einen zweiten Grund, der eine gewisse Weite der Röhre unentbehrlich macht. Im Laufe der Zeit sammelt sich immer etwas Luft, welche nach Oben in den leeren Raum steigt, also auf's Queckſilber drückt; bei gewöhnlichen Barometern, die oft vom Verfertiger gar nicht ausgekocht werden, wird dies immer nicht unbedeutend sein. Bei einer weiten Röhre beträgt aber die Menge der am Glase haftenden Luft stets einen kleineren Bruchtheil des freien Raumes über dem Queckſilber als bei einer engen: denn die Röhrenfläche nimmt im einfachen, der Raum über dem Queckſilber im quadratischen Verhältniß des Röhrendurchmeſſers zu. Aber auch bei Heberbarometern, die gewöhnlich nur zu Zwecken genauerer Meſſungen construirt werden, muß die Röhre möglichst weit genommen werden, obgleich die Capillardepreſſion hier, bei gleicher Weite beider Schenkel, nicht in Betracht kommt, und ein Anhaften von Luft am Glase bei der großen Sorgfalt, die auf ihre Verfertigung verwendet wird, nicht anzunehmen ist. Es giebt nämlich noch einen dritten Umstand, der sowohl bei Gefäß-, wie bei Heberbarometern den richtigen Stand der Queckſilbersäule beeinflußt. Es ist dies die Reibung des Queckſilbers an der Wandung der Röhre. Dieſer Widerstand ist dem Umfange also ebenfalls dem einfachen Durchmeſſer proportional: die ihm entgegenwirkende Kraft ist die Schwere des Queckſilbers, welche der Durchſchnittsfläche, also dem Quadrate des Durchmeſſers proportional ist. Der Reibungswiderstand wird also um so leichter überwunden werden, je größer der Durchmeſſer der Röhre ist. Der Reibung wegen ist es nöthig, vor jeder Beobachtung leise mit dem Finger gegen das Instrument zu klopfen; man wird bemerken, daß das Queckſilber dann um ein Weniges steigt oder fällt.

Eine weitere an ein gutes Barometer zu stellende Forderung ist Reinheit des Queckſilbers. Unreines Queckſilber ist leichter als reines, weil es immer nur durch Körper verunreinigt sein wird, die ein geringeres spec. Gewicht haben als das reine Queckſilber. Die dem Drucke der Luft das Gleichgewicht haltende Säule aus solchem Queckſilber muß dann natürlich länger sein als die aus reinem Queckſilber, also erhält man dann nicht das richtige Maß für den Luftdruck. Unreines Queckſilber führt aber noch den weiteren Nachtheil mit sich, daß es noch mehr Reibung am Glase erfährt als reines, und bei starker

Beimengung fremder Metalle, wenn es geschüttelt wird, am Glase Etwas haften läßt, die Menge in der Säule vermindert und das Glas undurchsichtig macht. Solche Barometer sind ganz unbrauchbar. Wenn das Quecksilber im Barometer rein ist, so bietet es dem Auge in der ganzen Länge der Röhre einen klaren, blanken Metallspiegel dar, giebt Bilder der davor befindlichen Gegenstände wie ein cylindrischer Convexspiegel, die Kuppe am oberen Ende der Säule spiegelt eben so und bildet ein Kugelsegment, das nur wenig niedriger ist, als eine Halbkugel vom Durchmesser der Röhrenweite. Bei unreinem, fremde Metalle enthaltendem Quecksilber ist die Kuppe nie so hoch, sie ist nicht kugelförmig, die Mitte der Kuppe verflacht sich und der Randwinkel ist weniger tief.

Der Raum unter dem Quecksilber muß vollkommen luftleer sein. Um zu erfahren, ob ein Barometer dieser Bedingung genüge, senke man es allmählig so, daß die Oberfläche des Quecksilbers nahe an die Glasdecke kommt, 1—$^1/_2$ cm. Abstand wird so ziemlich das richtige sein; nun senke man es weiter in einem kurzen, aber mäßigen Stoß so, daß das Quecksilber gegen die Glasdecke schlägt, und horche ganz genau auf die Beschaffenheit des Schalles; ist derselbe klar tönend, so darf man auf eine vollkommene Luftleere rechnen, ist er dumpf, so befindet sich Luft im oberen Raume. Es ist meist so wenig, daß sie durch bloße Annäherung des Quecksilbers an die Glasdecke nicht zu bemerken ist; das vorgeschlagene Mittel täuscht nie. Freilich muß man sehr vorsichtig dabei sein, weil, wenn der Stoß zu heftig geworden, unter Umständen das Glas abspringen kann; es hängt dies von der Beschaffenheit des Glases der Röhre ab; ist die Röhre bei ihrer Anfertigung auf der Glashütte oder auch beim Zuschmelzen der Oeffnung, oder nach dem Auskochen des Quecksilbers nicht gut gekühlt worden, so ist das Glas spröde und springt leicht ab.

Die Höhe der Quecksilbersäule soll vom unteren Niveau bis zum oberen gemessen, d. h. es soll der verticale Abstand der beiden Niveaux bestimmt werden. Dies ist nur möglich, wenn das Barometer genau vertical hängt. Gewöhnliche Barometer werden an einen in die Zimmerwand geschlagenen Nagel gehängt; dies mag auch ausreichen, wenn man sich überzeugt hat, daß die Wand selbst vertical steht, was man durch Gegenhalten eines Bleiloths bald erfahren kann. Ist die Wand nicht vertical, steht sie namentlich oben zurück, so muß man den Nagel so lang nehmen, daß das Barometer frei hängt und nirgends an der Wand anliegt, wo es dann rathsam ist, einen Holzkeil an die Wand zu nageln, oder ein Stück Kork gegen die Rückseite des Brettes zu leimen, daß das Brett des Instruments auch oben anliegen kann. Hängt die Wand oben vorn über, so wird man unten Etwas dahinter anbringen. Wenn ein Barometer ganz frei, ohne oben und unten anzuliegen, hängt, so nimmt es bei der gewöhnlichen Einrichtung zum Aufhängen nicht die verticale Lage an. Gewöhnlich wird auf der Rückseite des Brettes, welches auf

der Vorderseite die Barometerröhre trägt, am oberen Ende eine Messingplatte mit einem Loch festgeschraubt; da der Schwerpunkt des ganzen Instrumentes, wegen der auf der Vorderseite befestigten, mit Quecksilber gefüllten, also schweren Röhre nicht auf der Hinterseite des Brettes liegt, sondern in der vorderen Hälfte der Brettdicke, weithin nach der Vorderfläche: so wird sich bei freiem Hängen das Ganze so um den Aufhängepunkt drehen, daß die Verticale aus letzterem durch den weiter nach Vorn liegenden Schwerpunkt geht, die Röhre also eine geneigte Lage annimmt, oben vorn überhängt. Solche Barometer werden daher nur an einer verticalen Wand richtig hangen. Soll ein Barometer auch frei richtig hangen, so muß der Aufhängepunkt in einer Linie liegen, welche parallel mit der vorderen Brettfläche durch den Schwerpunkt geht. Dies wird durch eine gabelförmige, an den beiden Seitenflächen des Brettes befestigte Vorrichtung erreicht, wenn die beiden Theile durch einen Stab, an dem sich ein Ring befindet verbunden werden und eine solche Lage haben, daß die durch diesen Querstab gehende, mit der Vorderfläche des Brettes parallele Ebene durch den Schwerpunkt des ganzen Instruments geht. Natürlich wird man die richtige Lage dieser Gabel nur durch Versuche finden können, indem man das Barometer an einer provisorischen Klemme befestigt, ablothet, die Lage der Klemme so lange verändert bis die Kanten mit dem Loth parallel hangen und in dieser Lage die Aufhängevorrichtung dauernd befestigt.

Bei Barometern für gewöhnliche Wetterbeobachtungen mag es nicht nöthig sein, so große Vorsicht auf diesen Punkt zu verwenden, da sie selten frei zu hangen kommen und in der That ein unrichtiger Stand des Quecksilberniveaus um $^1/_4$ Linie nicht von Belang ist; die meisten Besitzer solcher Instrumente kümmern sich weniger um die wirkliche Höhe der Quecksilbersäule, als vielmehr darum, ob eine Veränderung derselben eingetreten, ob sie gestiegen oder gefallen sei, wobei eine so kleine Unrichtigkeit in der Lage des Barometers, d. h. eine geringe Abweichung von der Verticalen nicht von Belang ist. Dagegen muß bei feinen Barometern, die noch $^1/_{100}$ Linie angeben sollen, alle Sorgfalt auf die Art ihres Aufhängens verwendet werden.

Bei genauen Heberbarometern, die entweder zu Höhenmessungen oder zur vergleichenden meteorologischen Aufzeichnung bestimmt sind, wendet man noch eine andere Aufhängungsweise an. Es muß bei ihnen die Möglichkeit vorhanden sein, durch das Glas hindurch nach dem Lichte zu sehen. Das Brett ist daher oben, und meist auch unten durchbrochen, gerade da, wo die beiden Niveaux sich befinden. Für stehende Barometer, die nicht transportirt werden, bringt man an der Fensterbrüstung einen starken, senkrechten Ständer an, der zwei vor die Fensternische vorragende horizontale Arme trägt, die genau in eine Verticalebene fallen, und deren Abstand von einander etwas geringer ist als die Länge des Barometers; an dem oberen Arm wird das Instrument

an einer sicheren Schraube aufgehängt, gegen den unteren angelegt und durch seitliche Stifte vor Schwankungen gesichert, in die es bei zufälligen Stößen gerathen könnte.

Die Scala, von der der Höhenunterschied der beiden Niveaux abgelesen wird, ist bei den wohlfeilern Gefäßbarometern nur im obersten Theil angegeben (Fig. 209). Zuerst muß man sich bei dieser Art der Barometer überzeugen, in welchem Maße die Scala aufgetragen ist, indem die gewöhnlichen Barometermacher darin nicht zuverlässig sind; ich habe schon solche Scalen mit Normalmaßen verglichen und sie keinem bekannteren Maße entsprechend gefunden. Will man Fuß- und Zollmaß anwenden, so sollte man immer den Pariser Fuß und seine Abtheilungen wählen; gegenwärtig möchte übrigens das Metermaß vorzuziehen sein. Hat man sich von der Art des Maßes überzeugt, so muß man noch den Nullpunkt aufsuchen, d. h. die aufgetragenen Zolle mittelst eines Stangenzirkels rückwärts von 28 bis 0 abtragen und den Punkt suchen, wo der Verfertiger den Nullpunkt angenommen hat. Er sollte bei Gefäßbarometern immer in der Horizontalen liegen, in welche, bei mittlerem Barometerstande, d. h. wenn es auf 28 Zoll oder 76 cm. steht, das Niveau im Gefäße fällt. Ist dies bei einem zu prüfenden Barometer nicht der Fall, so läßt sich der Fehler entweder durch Aenderung der Scala, oder durch ein Heben oder Senken des Rohrs verbessern. Diese gewöhnlichen Gefäßbarometer haben gewöhnlich nur ein kurzes Ende einer auf Papier aufgetragenen Scala, welche mit einer Glasplatte gedeckt ist (Fig. 209). Findet man, daß sie unrichtig ist, sei es, daß sie nicht nach richtigem Maß aufgetragen, oder daß der Anfangspunkt der Scala nicht richtig gelegen, so nehme man die Scala heraus und ersetze sie durch eine neue nach richtigem Maß, deren Anfangspunkt in das Niveau des Queckſilbers fällt, wenn der mittlere Barometerstand stattfindet. Besteht der Fehler blos in der Unrichtigkeit des Nullpunkts, so hebt oder senkt man die Röhre und leimt unter die Krümmung des Rohrs ein Stück Kork an das Brett, worauf sich die Röhre stützen kann. Ist das Brett polirt, so muß man an der Stelle, wohin der Kork zu sitzen kommen soll, die Politur erst entfernen, weil sonst der Leim nicht haftet. Bei alten Barometern ist der hier besprochene Fehler manchmal dadurch entstanden, daß beim Transportiren oder sonst wie Queckſilber aus dem Gefäß ausgefloſſen und dadurch das Niveau erniedrigt worden ist. Ist sonst Alles in Ordnung, so hat man in solchem Falle nur etwas Queckſilber in das Gefäß nachzugießen; ist die

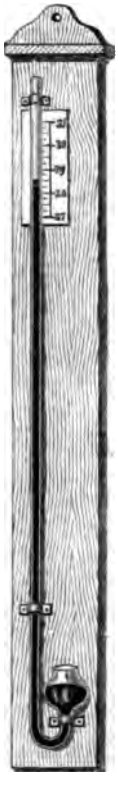


Fig. 209.

Oeffnung sehr eng, so bedient man sich dabei eines am einen ausgezogenen Glasröhrchens als Trichter. Alle diese Corre arbeiten werden sehr erleichtert, wenn man im Besitze eines a zuverlässig richtigen Barometers ist, weil sie sich auch zu Zeiten ausführen lassen, wo gerade nic mittlere Barometerstand stattfindet.

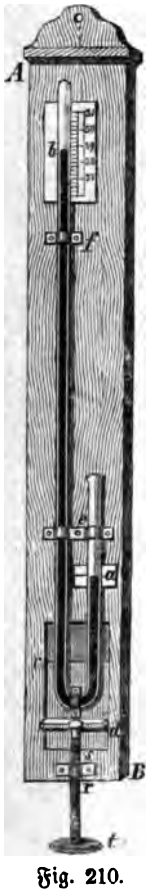


Fig. 210.

Bei Heberbarometern verändert sich das N im offenen Schenkel beim Steigen und Falle Queckſilbers gerade so viel als das im längere schloſſenen Schenkel, aber in entgegengesetztem S der Niveauunterschied ändert sich dann also u Doppelte von dem, um was das Queckſilber im Schenkel gestiegen ist. Der Nullpunkt der Sc also viel mehr veränderlich als beim Gefäßbar Um den richtigen Barometerstand zu erhalten, ka dreierlei Art verfahren werden.

1) Man läßt Rohr und Scala feststehen, aber bei beiden Niveaux Scalentheile auf, lieſt ab, wie viel das Niveau über oder unter dem punkt, oben, bei welchem Scalentheile es steht diesem letzten Maße wird die untere Ableſung zogen, wenn das Queckſilber über dem Null dagegen wird sie dazu addirt, wenn das Niveau dem Nullpunkte stand.

2) Das Rohr ist beweglich, die Scal (Fig. 210). Das Rohr wird, wie beim Gefä meter auf einem Brette AB befestigt, auf welche untere Queckſilberniveau a für den mittleren meterstand (der Nullpunkt der Scala) deutlich bez ist. In den Bändern e, f ist die Röhre versch sie ist aber unveränderlich befestigt an einem S cd, welcher sich in einer Vertiefung oder einem schnitt des Brettes AB wie in Falzen verschiebe

Die Verschiebung geschieht mittelst der Schra welche ihr Gewinde in der an AB befestigten B hat, dagegen am Ende, über s sich in einem Kegelg dreht. Dreht man die Schraube t rechts heru rückt sie in der Mutter r vor und stößt den S cd und damit das Barometerrohr in die Höhe; beim Linksdrehe sie den Schieber herunter. Mag also das Niveau unter oder üb Nullpunkte stehen, jedenfalls wird man es hierdurch in gleiche damit bringen können. Am oberen Ende des längeren Schenkels Theil der Scala aufgetragen und es kann so der Stand dieſe veaus, nachdem das untere regulirt worden, ohne Weiteres ab werden.

3) **Das Rohr** ist fest, die Scala beweglich. Dies ist die Einrichtung der genauen, zu wissenschaftlichen Zwecken bestimmten Barometer (Fig. 211). Die Scalenstange ab ist auf der einen Seite gezahnt und wird durch ein Trieb c, das in die Zähne der Stange eingreift, bewegt. Die Scala wird hierdurch so eingestellt, daß der Nullpunkt annähernd mit der unteren Quecksilberkuppe zusammenfällt. Die genauere Einstellung geschieht durch eine Mikrometerschraube m und eine Loupe oder Mikroskop mit horizontalem Faden. Das Mikroskop hat namentlich auch den Zweck, das Auge zu nötigen, in genau horizontaler Gesichtslinie zu sehen, d. h. Parallaxe zu vermeiden. Es wird aber nicht, wie einige Lehrbücher angeben, ein Fadenkreuz im Mikroskop angebracht, da man nicht, wie bei anderen Meßinstrumenten, einen Punkt fixiren will; es handelt sich hier lediglich um die richtige Horizontale. Die erwähnte Mikrometerschraube m erhält bei ihrer Drehung keine progressive Bewegung, sie zieht blos die Scala herunter oder schiebt sie aufwärts. Bei der Anbringung des Mikroskops muß der Künstler dafür sorgen, daß der Horizontalfaden, also die geometrische Achse des Mikroskops genau die Höhe des Nullpunkts der Scala bekommt. Die Scala muß durch die Mikrometerschraube so gerückt werden, daß der Horizontalfaden eine Tangente an die Quecksilberkuppe bildet. Bei vorzüglichen Barometern, wie denen von Pistor, ist die Scala an ihrem Nullpunkte mit einem Nonius versehen, um jederzeit controliren zu können, ob und wie viel der Horizontalfaden etwa vom wahren Nullpunkt abweiche.

Nachdem der Nullpunkt auf das untere Niveau eingestellt ist, muß die Höhe des oberen Niveaus von der Scala abgelesen werden. Hier ist stets ein Nonius angebracht, der auf ein Plättchen aufgetragen ist, welches sich ebenfalls mittelst einer Mikrometerschraube n über die Scalenstange verschieben läßt; zur Ablesung dient ein zweites Mikroskop, das dem am unteren Niveau ganz gleich ist; dieses muß mit seiner Achse genau die Höhe des Nullpunkts des Nonius haben. Die hier anzubringende Mikrometerschraube wird am zweckmäßigsten von Oben her auf die Noniusplatte wirken, sonst wie die untere eingerichtet sein. Das Noniusplättchen muß sich dicht an die Scalentheilung anschließen, die Theilung desselben auf einer abgeschrägten Fläche aufgetragen sein und die Coincidenz mit den Theilstrichen

Fig. 211.

der Scala leicht bemerkbar machen. Bisher waren die Scalen der Barometer meist nach dem alten Pariser Maß getheilt; bei Barometern wie das beschriebene gab die Scala direct halbe Linien an und 49 derselben waren auf dem Nonius in 50 getheilt; ein Noniustheil ist also um $^1/_{50}$ einer halben Linie, d. h. um $^1/_{100}$ Linie kürzer, als ein Maßstabtheil, oder der Nonius gestattet $^1/_{100}$ Linien abzulesen. An solchen genauen Barometern ist gewöhnlich ein Thermometer angebracht, welches die Temperatur der Luft angiebt, und ein anderes, dessen Kugel in einem Gefäß mit Quecksilber steckt und die Temperatur des Quecksilbers in der Barometerröhre bestimmen soll. In unsere Figur ist nur das äußere Thermometer c aufgenommen. Diese Temperaturbestimmung der barometrischen Flüssigkeit ist unentbehrlich, wenn der beobachtete Barometerstand auf 0^0 reducirt werden soll.

Zur genauen Einstellung und Beobachtung an diesem Barometer muß man Durchsicht haben; die Holzplatte, welche das Rohr trägt, muß daher in der Gegend beider Niveaux durchbrochen sein, (dieses ist in der Figur bei ik und rs angedeutet) und man muß das Instrument so aufhängen, daß man bei der Einstellung nach dem Lichte hin sieht.

Man hat oft beobachtet, daß das Quecksilber in der Gegend des Niveaus, wo es im kürzeren Schenkel mit der atmosphärischen Luft in Berührung kommt, das Glas angreift, es nach längerer Zeit trüb und undurchsichtig macht. Bei älteren Barometern tritt dieser Uebelstand auch selbst beim oberen Niveau ein, obgleich sich da keine Luft befindet, oder doch befinden soll. Es ist dies wahrscheinlich eine chemische Einwirkung des Quecksilbers auf das Glas; jedenfalls muß man es bei feinen Barometern zu verhindern suchen, da wenigstens die Beweglichkeit des Quecksilbers beeinträchtigt wird, indem an der rauh gewordenen Wandung größere Reibung entsteht. Zu diesem Zwecke wird gewöhnlich vorgeschrieben, das Barometer zu den Zeiten, wo gerade nicht beobachtet wird, so zu neigen, daß die beiden Niveaux aus der Gegend der gewöhnlichen Beobachtungshöhe entfernt werden, und es vor jeder Beobachtung in die verticale Lage zu bringen. Wie das zu bewirken hängt von der Art des Aufhängens ab, wird aber in jedem einzelnen Falle leicht zu erreichen sein. Im Allgemeinen genügt es, am unteren Querarm des Ständers, woran das Instrument aufgehängt ist, seitwärts einen Haken anzubringen, in welchen das untere Ende des Barometers eingelegt wird, während die Aufhängung oben unverändert bleibt.

Fortin's Reisebarometer ist ein Gefäßbarometer, das sich beiser als alle anderen zum Transporte eignet. Es ist in (Fig. 212) und 213) dargestellt.

In dem Boden bc des Metallcylinders abcd läßt sich die Schraube eo auf und niederschrauben; bei C stößt sie an das Metallstück o in der Weise, daß eine Verdickung am Ende der Schraubenspindel in den Körper o eingreift, darin sich drehen, aber aus der Höhlung von o nicht ausweichen kann. Bei ad ist ein Metallring; in diesen ist der

Ring kl von Buchsbaumholz eingeschraubt, unterhalb in kl der Ring hi aus demselben Stoff; an diesen letzteren Ring ist ein Beutel aus sämischgarem Gemsleder gebunden, der nach Unten hin wieder an den Metallkörper o festgebunden wird; vvww ist ein Glascylinder, der oben und unten durch je einen Metallring aufgenommen und durch die mit Schrauben versehenen Stangen af, dg festgehalten wird; solcher Stangen sind in der Wirklichkeit drei vorhanden, von denen der Durchschnitt der Figur nur zwei aufnehmen kann. Der Lederbeutel hio und zum Theil der Cylinder vvww nehmen das Quecksilber auf, welches das Niveau nn' bildet. An der Decke fg ist ein Metallstift befestigt, dessen unteres Ende in gleicher Höhe mit dem Nullpunkt der Scala steht. (In der Figur ist er nicht vorhanden). Vor jeder Beobachtung wird das Quecksilberniveau mit dieser Spitze in Berührung gebracht, indem man durch die Schraube e den Körper o und damit den Lederbeutel emporhebt oder niedersenkt, bis die Spitze gerade die Oberfläche des Quecksilbers berührt. Von der Barometerröhre sieht man hier den untersten Theil rs. Zwischen m und o ist noch ein Lederverschluß, indem das Leder in der Höhe von mm um die Glasröhre gebunden ist und zwischen die in jener Gegend sichtbaren Holzringe eingeklemmt wird. Die Luft muß zu dem Quecksilberniveau nn' Zutritt haben. Dieses gestattet nun eben dieser letzte Lederverschluß, indem das Leder die Luft durchläßt, das Quecksilber aber, wenn nicht gerade starker Druck darauf ausgeübt wird, zurückhält. Bei manchen Barometern wird der letzte Lederverschluß fortgelassen; da aber dann der innere Raum über dem Quecksilberniveau nn' luftdicht abgeschlossen wäre, setzt man in die Decke fg ein nach Innen capillar zulaufendes Glasröhrchen ein, durch das die Luft Zutritt erhält, das Quecksilber aber, wegen der Feinheit der Oeffnung, nicht austreten kann. Bei mm ist das die Glasröhre rs (und ihre Fortsetzung in Fig. 213) einhüllende Messingrohr aufgeschraubt, welches im oberen Theil der Länge nach zwei einander gegenüberstehende Schlitze hat, um das Barometerrohr und den Stand des

Fig. 212.

Fig. 213.

Quecksilberniveaus darin sichtbar zu machen. Am Rande dieses Schlitzes ist die Scala aufgetragen, die wie schon gesagt, ihren Nullpunkt in der Höhe der Spitze des erwähnten Stiftes hat. Ueber das Rohr ist das kürzere Rohr uu geschoben, das in einem Theil seiner Länge wieder zwei Schlitze hat, die auf die des längeren Rohrs treffen; auf der Seite, wo auf diesem die Scala aufgetragen ist, nimmt das kürzere Rohr am Rande des Schlitzes den Nonius auf; zu diesem Zweck tritt hier der Rand gegen den des längeren Rohrs etwas zurück. Das Noniusrohr wird gewöhnlich, um den Nullpunkt des Nonius auf die Quecksilberkuppe einzustellen, aus freier Hand geschoben; sonst kann man auch den anderen Rand gezahnt machen und es mittelst eines Triebs bewegen.

Soll dieses Barometer transportirt werden, so führt man die Schraube c so hoch hinauf, daß das Quecksilber den Raum des Glascylinders vvww ganz ausfüllt; die vorhandene Luft entfernt sich dabei durch das Leder hindurch oder durch das eingesetzte Capillarröhrchen. Man muß aber während des Schraubens das Instrument so neigen, daß das Quecksilber oben an die Decke des Rohrs anschlägt, die Masse also völlig unbeweglich ist. In diesem Zustande kann dann das Barometer transportirt werden, ohne daß zu befürchten ist, daß Luft in dasselbe gelange oder die Glasröhre durch das Quecksilber zerstoßen werde. Vor starken Stößen wird man es dennoch hüten müssen. Um es auf Reisen zu nehmen schließt man es in ein Gehäuse, welches aus drei am oberen Ende sich in Charnieren bewegenden Stäben zusammengesetzt ist. Für das Gefäß bilden die drei Stäbe nach Unten hin eine Erweiterung. An den unteren Enden sind die Stäbe mit Eisenspitzen versehen und können so als Dreifuß dienen, um im Freien das Barometer aufzuhängen und die Beobachtung am beliebigen Orte anzustellen.

Das Doppelbarometer von Huyghens (Fig. 214) besteht aus einer Röhre ab, welche sich oben zu einem geschlossenen Gefäß a erweitert; bei c ist sie heberförmig umgebogen und bildet hier wieder ein Gefäß d von gleicher Weite mit a; an dieses schließt sich die oben offene Röhre ef an. In die Röhre abc und einen Theil der Gefäße a und d wird Quecksilber gefüllt, das man auskocht, so daß der Raum über dem Quecksilber in a luftleer wird. Auf das Quecksilber in d und einen Theil eg der Röhre ef wird gefärbter Weingeist gefüllt. Das Doppelrohr wird auf ein Brett befestigt und an der Röhre mit dem Weingeist wird die Scala angebracht. Diese kann nur empirisch gemacht werden, indem man einen Punkt von nahezu dem größten und einen von möglichst geringem Luftdruck nach einem guten einfachen Quecksilberbarometer bestimmt und die beiden Zwischenpunkte nach diesen beiden durch Eintheilung vermittelt. Da die Scala am offenen Schenkel angebracht ist, so fällt das Barometer, wenn der Luftdruck größer, und steigt, wenn der Luftdruck geringer wird.

Zur Herstellung des Gleichgewichts in diesem Barometer drückt auf der einen Seite die Quecksilbersäule ab, auf der anderen die Queck-

silbersäule von d an abwärts, die Weingeistsäule dg und der Luftdruck; steigt also das Quecksilber ba etwa um eine Linie, so fällt es in d um eben so viel, und da die Röhre ef enger ist als das Gefäß d, so muß die Weingeistsäule eg um viel mehr sinken. Jede Veränderung im Luftdruck bewirkt ein viel stärkeres Steigen oder Sinken in der leichten Flüssigkeit, als in einer Quecksilbersäule hervorgebracht werden würde. Dieses Barometer macht also viel kleinere Veränderungen im Luftdrucke sichtbar als ein einfaches Quecksilberbarometer, weshalb es für oberflächliche Beobachter, die nicht ein Maß des Luftdrucks verlangen, sondern nur erfahren wollen, ob das Barometer im Steigen oder Sinken begriffen sei, bequemer als das gewöhnliche Quecksilberbarometer ist. Für bestimmte Maße der Weite der Gefäße und Röhren läßt sich leicht finden, welcher Quecksilbersäule ein Steigen oder Fallen der Weingeistsäule um eine bestimmte Größe entspricht; da aber dieses Barometer so viele Fehlerquellen in sich vereinigt, so würde solche Rechnung doch keinen Zweck haben, man wird nie ein richtiges Resultat bekommen können. Die Fehler des Instrumentes bestehen hauptsächlich in Folgendem: 1) die leichte Flüssigkeit im offenen Schenkel dünstet nach und nach ab; 2) es wird nie möglich sein, das Verhältniß zwischen den Durchmessern der Gefäße und der Röhre genau zu ermitteln, was doch zur Berechnung der gesuchten Größen nöthig wäre; 3) der Einfluß der Wärme ist viel bedeutender und viel verwickelter als beim einfachen Quecksilberbarometer; 4) die Reibung des Weingeists an der Röhrenwandung ist so bedeutend, daß dadurch eine gewisse Unempfindlichkeit des Instruments hervorgerufen wird; 5) der Weingeist, den man verwendet, ist wasserhaltig, weil wasserfreier noch leichter verdunsten würde; nun wird derselbe aber bei dem einen Instrument mehr, bei dem anderen weniger wasserhaltig, bei jenem schwerer, bei diesem leichter sein. Es werden dann nicht gleich hohe Säulen Flüssigkeit einem gleichen Luftdrucke entsprechen; zwei Barometer werden nicht vergleichbar sein; endlich 6) wird von dem wasserhaltigen Weingeist, wenigstens bis zu einem gewissen Punkte hin, zuerst der Weingeist abdunsten, die Flüssigkeit also schwerer werden, daher denn die ursprüngliche Scala nach so eingetretener Veränderung der Flüssigkeit nicht mehr gültig bleiben kann.

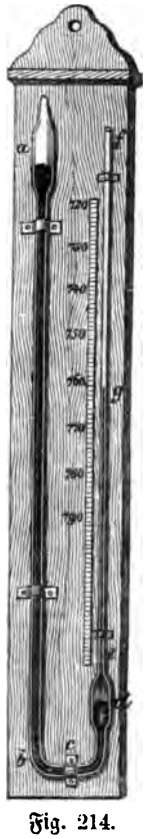


Fig. 214.

Hook's Radbarometer (Fig. 215) ist ein Heberbarometer, dessen offener Schenkel zweckmäßig etwas erweitert wird; auf der Quecksilberoberfläche dieses Schenkels schwimmt ein eisernes Gewichtchen a, von welchem ein Faden über eine Rolle r geführt wird, an dessen anderem

Ende ein fast eben so schweres Gewichtchen b hängt. An der Achse der Rolle ist ein Zeiger befestigt, der über eine getheilte Scheibe ss läuft. Beim Steigen und Fallen der Queckſilberſäule im längeren Schenkel ſinkt oder steigt das Gewicht im kürzeren Schenkel, die Rolle r dreht ſich, damit ihre Achse und der daran befindliche Zeiger, der in der Figur nur theilweise zu sehen ist, da diese das Instrument von der Rückseite darstellt. Ist die Scheibe groß genug, so können die Abtheilungen größer werden als am gewöhnlichen Barometer, müssen aber natürlich nach einem Normalbarometer aufgetragen werden. Zu Messungen ist dieses Barometer nicht brauchbar, es kann aber ein schöner Zimmerzierrath werden.

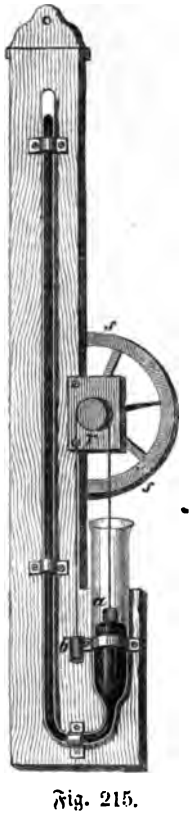


Fig. 215.

Für alle Arten der Queckſilberbarometer ist zu bemerken, daß sie während des Transportes so gesenkt werden müssen, daß das Queckſilber oben, im Vacuum, gegen die Decke anliegt, und daß, wenn man sie wieder vertical anhängt, sie nur sehr langsam und vorsichtig in diese Lage zu bringen sind, damit keine Luft in's Vacuum steige.

Das Aneroidbarometer (α priv. und ἀήρ, Luft, also luftloses Barometer). Bei diesen Barometern wird kein Queckſilber gebraucht, sie bestehen nur aus festen Körpern. Es giebt deren zwei Arten: das eine von Vidi, das andere von Bourdon. Der erste nennt sein Barometer auch Holosteric (von ὅλος ganz, und στερεός fest), der andere das seinige Metallic, Metallbarometer.

Das Holosteric von Vidi besteht aus einer Kapsel aa (Fig. 216) von dünnem, cannelirtem und versilbertem Kupferblech; durch das Röhrchen o wird die Kapsel luftleer gepumpt; die Oeffnung wird dann zugelöthet. Die Blechwand ist so dünn, daß der geringste Druck von Außen sie zusammendrücken würde, so z. B. der Luftdruck. Um dies zu verhindern ist die Vorderseite der Kapsel aa (die in der Figur sichtbare Seite ist die Rückseite des Instruments) an das Gehäuse festgeschraubt, an die Rückseite ist das Messingstück uv festgelöthet, welches in einer Gabel bb endigt; diese Gabel nimmt den Eisenstab cd auf, der innerhalb der Gabel eine Biegung de nach der Kapsel hin macht; durch die beiden Backen der Gabel und die hohle Krümmung des Eisenstabes geht ein Stahlstift xx, der nach Innen, d. h. nach dem Eisenstabe zu, prismatisch gefeilt ist, so daß die hohle Fläche von cd sich gegen die Schneide des Stiftes xx anlehnt. Der Stab cd erweitert sich oben zu dem Ringe g, gegen welchen sich eine Spiralfeder f stützt, deren anderes Ende gegen eine Messingscheibe anliegt, welche mit dem

Ständer des Instruments in Verbindung steht. Diese Feder f drückt also den oberen Theil des Stabes cd, nämlich den Ring g, von der eben erwähnten Messingscheibe abwärts gegen die Schneide des Stiftes xx. Die Verlängerung des Stabes cd nach Unten bildet die Platte ik, welche sich bei i und k mit ihrer Hinterfläche gegen die Spitzen zweier von den vorderen Ständern des Gehäuses kommenden, horizontalen Stäbe h, h anlehnt; um diese Spitzen dreht sich die Platte ik mit dem Stabe cd wie ein Hebel, der seine Drehachse in ik hat. Bei xx wirkt eine Kraft, nämlich der Luftdruck, so, daß sie den Stift xx der Kapsel zu nähern strebt; bei g wirkt die Feder f dieser Kraft entgegen, sie stößt den Ring g in entgegengesetzter Richtung;. diese Kraft der Feder ist gerade so abgepaßt, daß sie dem mittleren Luftdruck das Gleichgewicht hält. Steigt der Luftdruck über das Mittel, so überwiegt er über die Kraft der Feder, die Kapsel wird etwas von Hinten eingedrückt. Fällt der Luftdruck unter das Mittel, so überwiegt die Kraft der Feder, der Stift xx rückt weiter nach Außen, die Kapsel kann sich nach Hinten ausdehnen. Mit dem Ringe g steht ein Winkelhebel in Verbindung, der Arm l hat am Ringe g ein Gelenk und sitzt am anderen Ende am Querstab mm fest, der sich um zwei Schräubchen im Ständer dreht, wovon eines, y, links sichtbar ist. An demselben Stabe mm ist auch der Arm nn angebracht, in den das Metallstreifchen nq eingelenkt ist, das in seinem oberen Theil aus einer Uhrkette besteht, also biegsam ist; es ist mit seinem oberen Ende in der Achse ps befestigt und windet sich bei der Bewegung des Hebelarms nn auf eine auf der Achse ps befindlichen Rolle, oder von derselben ab. Nimmt nun der Luftdruck zu, so wird die Feder f etwas zusammengedrückt, der Arm l wird nach Vorn geschoben, der Querstab mm von Oben nach Unten gedreht, eben so der Arm nn, die Uhrkette nq wird abwärts gezogen, die Achse ps (von Hinten gesehen) von Rechts nach Links gedreht. Nimmt dagegen der

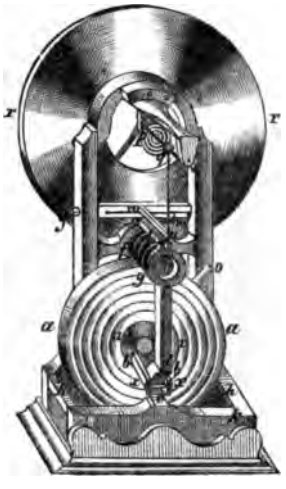


Fig. 216.

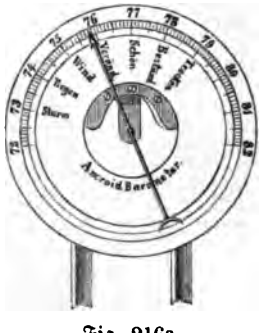


Fig. 216a.

Luftdruck ab, so überwiegt die Kraft der Feder f, der Ring g nähert sich dem Beschauer, die Kapsel dehnt sich nach Hinten aus, der Querstab mm dreht sich von Unten nach Oben, ebenso nn, die Uhrkette nq hebt sich; da sie dabei schlaff werden könnte, so ist bei q eine feine Spiralfeder eingefügt, deren eines Ende unveränderlich in dem Träger der Achse ps, das andere an der Achse ps selbst befestigt ist, und die stets das Bestreben hat, sich auszudehnen, ihre Windungen zu erweitern; wenn also nq die Achse nicht links herum zu drehen strebt, so kann die Feder q sie durch ihre, wenn auch noch so geringe Kraft, rechts herum drehen. Die Feder q spannt überhaupt jederzeit die Uhrkette nq, arbeitet dem Zuge derselben entgegen nnd verhindert jeden todten Gang der Achse ps.

Auf der Vorderfläche der Scheibe rr (Fig. 216[a]) sitzt auf der Achse ps ein Zeiger, der über die am Umfange angebrachte Eintheilung läuft, die auch hier nach einem Quecksilberbarometer gemacht werden muß. Gewöhnlich wird die Theilung in englischem, pariser und Millimetermaß aufgetragen; unsere Figur giebt blos die letzte.

Da die elastische Kraft der Metalle, worauf dieses Instrument beruht, sich nicht vollkommen gleich bleibt, so muß man sowohl die Feder f, als auch die Bewegung der Hebel mm und nn von Zeit zu Zeit reguliren. Für die Feder f ist hinter derselben die oben erwähnte Messingscheibe angebracht, welche sich mit einem etwas kleineren Cylinder in die Feder f hinein erstreckt und durch eine innerhalb f befindliche Schraube vor- und rückwärts bewegt wird, so daß sie die Feder mehr oder weniger spannt. Der Stab mm besteht aus zwei Theilen, die nur am Ende links zusammenhangen; rechts sind zwei Schräubchen, von denen das innere nur gegen den oberen Theil gegenstößt, das äußere aber durch beide Theile durchgeht. Durch diese Schräubchen wird die Bewegung des Stabes mm, also auch die der Kette nq regulirt; je mehr der untere Theil dem oberen genähert wird, desto stärker wirkt die Spannung der Feder f auf die Drehung der Achse ps und des Zeigers.

Das Metallic von Bourdon beruht auf der Erfahrung, daß eine Metallröhre mit dünnen Wandungen und elliptischem Durchschnitt, wenn sie einen Kreisbogen bildet, durch Verdichtung der eingeschlossenen Luft sich auseinander, durch Verdünnung der Luft sich zusammenbiegt, weil bei der Verdichtung die (nach Außen) convexe Wandung dem inneren Drucke, bei der Verdünnung dieselbe Wandung dem äußeren Drucke mehr Fläche darbietet. Aendert sich der äußere Druck, während der innere derselbe bleibt, so ist die Wirkung die entgegengesetzte, weil eine äußere Verdichtung der Luft gleich einer inneren Verdünnung wirken muß. Bei dem Metallic befindet sich nun ein solches Röhrchen in einem Gehäuse aa (Fig. 217); die Mitte b des Röhrchens ist an das Gehäuse befestigt, die Enden c, d wirken mittelst der Stäbchen ce, df auf einen um seine Mitte drehbaren Hebel ef, mit dem sich auch der gezahnte Bogen gh dreht, welcher in das Trieb i eingreift. Eine Ver-

dünnung der äußeren Luft entfernt die Enden c, d von einander, der Hebel ef und der gezahnte Bogen gh werden links herum gezogen; also geht das Trieb i rechts herum, und dieselbe Bewegung nimmt der auf derselben Achse befindliche Zeiger an. Wenn aber die äußere Luft sich verdichtet, so krümmt sich das Röhrchen stärker, die Enden c, d nähern sich einander; dann geht der Bogen gh rechts herum zurück, das Trieb i und der Zeiger gehen links herum. Auf der Vorderseite, wo am Rande die gewöhnlichen Maße nach einem Normalbarometer aufgetragen sind, vertauschen sich natürlich Links und Rechts. Die Figur zeigt zwar die Rückseite; nichtsdestoweniger ist die Theilung mit dem Zeiger darauf aufgenommen; man hat sich also beide nach der anderen Seite

Fig. 217.

verlegt zu denken. Die Spiralfeder k verhindert auch hier wie beim Holosteric, den todten Gang.

Die Aneroidbarometer sind bequem zur Beobachtung und zum Transporte; aber ihre Anzeigen sind nicht so sicher wie die eines gut ausgekochten Quecksilberbarometers; sie müssen von Zeit zu Zeit nach einem Normalbarometer regulirt werden.

2. Zusammendrückbarkeit und Ausdehnsamkeit der Luft und Gase.

a. Um nur erst eine Anschauung von diesen Eigenschaften der Luft zu vermitteln bedarf man einiger kleinerer Instrumente. Dahin gehört ein messingener, gut ausgeschliffener Hohlcylinder, mit genau passendem Kolben. Man macht diese Cylinder jetzt auch zweckmäßig aus Glas. Das Hineinstoßen des Kolbens in den Cylinder beweist

die Zusammendrückbarkeit der Luft; da der Kolben aber, sich selbst überlassen, wieder in die Höhe schnellt, so muß die Luft ausdehnsam sein.

b. Der Heronsball läßt sich sehr einfach herstellen, wenn man eine Flasche nimmt, einen guten Kork dazu auspaßt, ihn so durchbohrt, daß ein an einem Ende zu einer feinen Spitze ausgezogenes Röhrchen luftdicht durchgesteckt werden kann, und das Röhrchen so lang macht, daß es in der Flasche beinahe bis auf den Boden reicht. Füllt man nun die Flasche halb voll Wasser, setzt den so vorbereiteten Kork ein und bläst durch das Rohr Luft in die Flasche, so treibt die so verdichtete Luft einen Wasserstrahl heraus.

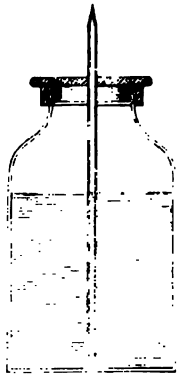


Fig. 218.

Schöner und sicherer wird der Apparat, wenn man die Oeffnung des Glases mit einer Fassung versieht und den Deckel, in welchem das Rohr eingekittet ist, auf die Fassung aufschraubt (Fig. 218). Noch besser, aber auch theurer wird dieser Apparat, wenn man, statt des Glasrohrs, ein Messingrohr mit Hahn anwendet. Ja, man hat solche Apparate auch mehr im Großen ganz aus Messing gefertigt, wo dann die Luft, statt aus dem Munde, mit einer besonderen Verdichtungspumpe eingeführt wird. Eine solche Pumpe besteht aus einem eisernen Rohr ab mit Kolben k (Fig. 219); am oberen Ende hat es eine seitliche Oeffnung c, so weit von der Decke, daß gerade der Kolben noch über der Oeffnung Platz findet; am unteren Ende wird die Oeffnung des engen Canals durch ein Blasenventil verschlossen. Der Boden des Rohrs bildet nämlich nach Außen eine ebene Fläche, in welcher der Canal mündet; über dieser Fläche wird ein Stück Blase festgebunden, welches zwei parallele Schnitte bekommt (s. die Nebenfigur). Um die Blase festzubinden ist in die cylindrische Fläche ringsum eine Rinne gedreht, oder es wird dem Rand eine Wulst gegeben. Dieser Theil hat einen kleineren Durchmesser als die Oeffnung in dem Gefäß; oberhalb des Ventils ist in das Rohr eine Schraube geschnitten, welche gerade in die Hohlschraube des an dem Gefäß angebrachten Hahnaufsatzes paßt. Zu derselben Schraube (oberhalb des Hahns) paßt nun noch die Schraube am einen Ende eines eng zulaufenden Messingröhrchens. Der Aufsatz mit dem Hahn trägt nach Unten hin ein Rohr, das beinahe auf den Boden des Gefäßes reicht, und

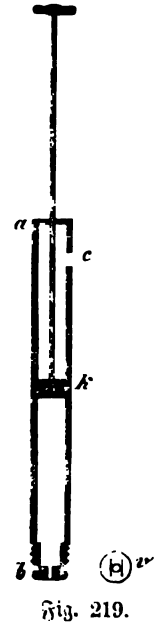


Fig. 219.

wird in die gewölbte Decke des Gefäßes eingeschraubt, zu welchem Zwecke die Decke an dieser Stelle im Metall verstärkt ist.

Zum Versuche schraubt man das Hahnstück ab, füllt das Gefäß zum Theil mit Wasser und setzt den Hahn wieder ein; über dem geöffneten Hahn wird die Verdichtungspumpe eingesetzt. Stößt man den Kolben hinab, so treibt er die Luft vor sich durch den Hahn und die zum Boden reichende Röhre in das Gefäß, wo sie im Wasser emporsteigt und sich über diesem mit der dort schon vorhandenen ansammelt. Sie drückt nun zwar, wenn der Kolben wieder in die Höhe gezogen wird, weil sie dichter als die äußere Luft ist, das Wasser durch die Röhre gegen das Ventil am Boden der Pumpe; da aber die übergebundene Blase sich genau an die Metallfläche anlegt, so kann das Wasser nicht weiter kommen; beim zweiten und allen folgenden Kolbenzügen geschieht dasselbe; die Luft über dem Wasser wird um so dichter und übt einen um so größeren Druck gegen das Wasser aus, je länger man das Spiel der Pumpe fortgesetzt hat. Man schließt dann den Hahn, schraubt die Pumpe ab und setzt an ihre Stelle das kleine, enge Röhrchen auf. Oeffnet man nun den Hahn wieder, so treibt die über dem Wasser angesammelte verdichtete Luft einen Wasserstrahl aus der Oeffnung, der um so höher steigt, je mehr die Luft verdichtet war.

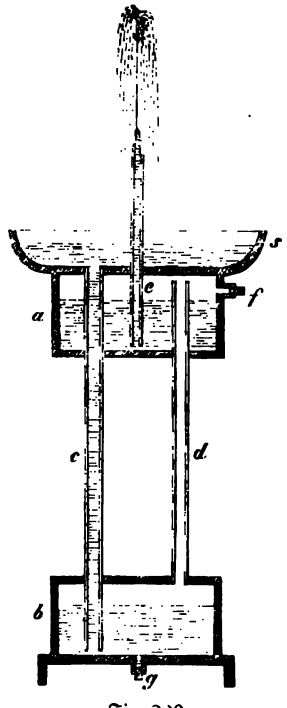


Fig. 220.

Die Blase des Ventils wird zwar, wenn sie trocken geworden, steif, und legt sich zuerst nicht glatt an das Metall an; wenn sie aber wieder naß ist, erweicht sie auch, wo sie dann beim Aufziehen des Kolbens durch den vom Wasser von Innen auf sie ausgeübten Druck so stark an die Metallfläche gepreßt wird, daß die Einschnitte kein Wasser durchlassen.

c. Der Heronsbrunnen wird gewöhnlich aus Blech gemacht und hat dann die durch (Fig. 220) im Durchschnitt dargestellte Einrichtung. Er besteht aus den Gefäßen a und b; oben auf a ist eine flache Schale s angebracht; die Gefäße a, b sind durch die Röhren c und d auf die durch die Zeichnung ausreichend deutliche Weise verbunden. Durch die Mitte des Bodens der Schale s geht noch ein Rohr e bis nahe an den Boden des Gefäßes a; dieses Rohr ist nach Oben verengt, so daß nur ein dünner Wasserstrahl emporspringen kann.

Wegen dieses Rohrs e bildet das Gefäß einen Heronsball; bei f im oberen Theil der Seitenwand hat es eine Oeffnung, durch welche Wasser eingegossen werden kann; wenn dies geschehen, wird die Oeffnung durch einen Kork verschlossen. Das Gefäß b hat eine Oeffnung im Boden, die ebenfalls durch einen Kork verschlossen wird; sie dient dazu, nach dem Versuche das hineingeflossene Wasser abzugießen.

Nachdem etwas Wasser in das Gefäß a gegossen und die Oeffnung f wieder verschlossen worden, stellt man den Apparat aufrecht hin und gießt die Schüssel s voll Wasser. Dieses Wasser drückt auf die Luft der Röhre c, fließt auch wohl nach b ab, verdrängt aus b die Luft durch die Röhre d; diese fließt nach a hinauf und wirkt da gerade wie im Heronsball und das Spiel dauert so lang, als die Röhre d noch unter Wasser ist, indem man das Wasser auf der Schale s jederzeit erneuern kann.

Fig. 221.

Man stellt den Heronsbrunnen auch ganz aus Glas her. Die (Fig. 221) stellt eine der verschiedenen Formen desselben dar. Auf dem Fußbrett AB mit dem senkrechten Ständer BC ist die Glasröhre DEFG befestigt; sie hat bei D eine trichterförmige Erweiterung, bei F und G Kugeln; in G reicht die Röhre in das Gefäß hinein und bis nahe an die Decke. Die Oeffnung der Kugel G ist durch einen Kork verschlossen, durch den die gebogene Röhre xyz geführt ist; bei z endet die Röhre in eine feine Spitze. Um den Apparat in Thätigkeit zu setzen nimmt man die Röhre xyz sammt dem Pfropfen heraus, gießt die Kugel G fast voll Wasser, setzt die Röhre wieder ein und gießt auch Wasser in den Trichter D, so springt ein Strahl aus der Oeffnung z.

d. Das Mariotte'sche Gesetz. Um das Gesetz, nach welchem die Elasticität der Luft und Gase wirkt, darzustellen, dient die Mariotte'sche Röhre. Der Versuch muß mit verdichteter und mit verdünnter Luft angestellt werden; er erfordert daher auch zwei verschiedene Apparate.

α. Für verdichtete Luft. Zum Zwecke des Unterrichts genügt es, den Versuch mit höchstens 1 Atmosphäre und den Bruchtheilen einer Atmosphäre Quecksilberdruck anzustellen; das Rohr braucht daher auch nur etwa die Länge eines Heberbarometers zu haben und wird in der Form der (Fig. 222) vollkommen dem Zweck entsprechen. Der kurze Schenkel sollte sorgfältig so ausgesucht werden, daß er überall gleich weit ist; beim langen kommt hierauf Nichts an. Man bläst gewöhnlich das Ende des kurzen Schenkels zu; dies bringt aber den Nachtheil, daß beim Eingießen des Quecksilbers in den langen (offenen)

Schenkel etwas Luft in den kurzen hinübergetrieben wird; da das Quecksilber die Röhre unten in der Krümmung verschließt, so ist die Luft im kurzen Schenkel völlig abgeschlossen und bleibt also etwas dichter als die äußere Luft ist; dies stört die Genauigkeit des Versuchs. Ich lasse daher an's Ende des kurzen Schenkels statt des Glasverschlusses, einen kleinen Hahn h anmachen, der jedoch sehr genau schließen muß, weil sonst die Versuche auch nicht genau stimmen würden. Die Fassung, mit welcher der Hahn auf die Röhre aufgekittet wird, muß so eingerichtet werden, daß das Ende des Glasrohrs dicht an den Kegel des Hahns reicht. Von einer Horizontalen a b ab, welche man dicht über der Krümmung der Röhre zieht, wird eine Scala nach Millimeter aufgetragen; um diese Scala bequem anzubringen befestigt man das Rohr auf einem Brett AB, das beim Versuch wie ein Barometer aufgehängt wird; die Scala wird dann zwischen beiden Röhrenschenkeln auf das Brett verzeichnet, so daß sie für beide Schenkel zugleich dient. Man kann aber auch noch für jeden Schenkel an der Außenseite eine besondere Scala nach Atmosphären, oder Bruchtheilen einer Atmosphäre anbringen; sie muß dann aber allemal den mittleren Luftdruck voraussetzen, der nicht immer stattfindet, wohingegen bei der Millimeterscala der Barometerstand während des Versuchs berücksichtigt werden kann. Gießt man nämlich, bei geöffnetem Hahn, so viel Quecksilber in die Röhre, daß es in der Höhe der Linie a b, d. h. des Nullpunkts der Scala steht, und schließt dann den Hahn, so nimmt die Luft im kurzen Schenkel den ganzen inneren Raum dieses Schenkels ein, so weit er getheilt ist. Das Maß dieses Luftvolumens wird durch die Länge der Röhre ausgedrückt, da wir sie als cylindrisch angenommen haben; es seien $p^{mm.}$ Nun gieße man so viel Quecksilber ein, daß dieses im kurzen Schenkel $q^{mm.}$ steigt, und es stehe im langen bei $r^{mm.}$; so ist zu entscheiden, ob diese Größen dem Mariotteschen Gesetz entsprechen. Nun sind die Volumina der Luft p und p—q; der Druck war Anfangs der der äußeren Luft, also der zur Zeit stattfindende Barometerstand, den wir mit b bezeichnen wollen; nach dem Eingießen des Quecksilbers betrug dieser Druck b + r—q; ist dann p : p—q = b + r—q : b,

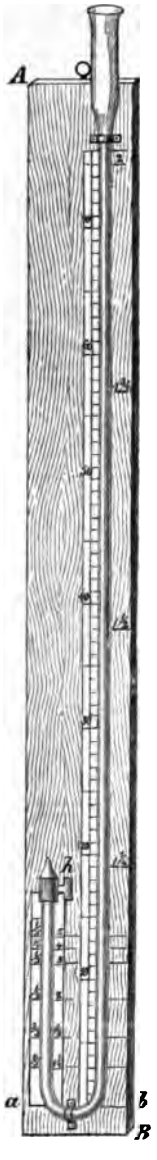


Fig. 222.

so ist das Gesetz durch den Versuch bestätigt, die Volumina der Luft verhalten sich umgekehrt wie die Druckkräfte.

Man kann auch sogleich (bei offenem Hahn) beliebig viel Quecksilber eingießen, das Volumen der abgeschlossenen Luft und die Höhe des Quecksilbers im langen Schenkel über dem Niveau im kurzen ablesen, dann noch mehr Quecksilber zugießen und wieder an beiden Schenkeln ablesen; wenn dann die beiden Volumina sich umgekehrt wie die Quecksilberhöhen im langen Schenkel über dem jedesmaligen Niveau im kurzen, vermehrt um den Barometerstand, verhalten, so ist der Versuch dem Gesetz entsprechend ausgefallen.

Wollte man nach Theilen einer Atmosphäre theilen, so könnte man die Drucke suchen, unter denen die eingeschlossene Luft etwa $^4/_5$, $^3/_4$, $^2/_3$, $^1/_2$ ihres anfänglichen Volumens einnimmt. Nach dem Mariotte'schen Gesetze sind diese Drucke bez. $^5/_4$, $^4/_3$, $^3/_2$, 2 Atmosphären, also $^1/_4$, $^1/_3$, $^1/_2$, 1 Atmosphäre über den Luftdruck, d. h. 19, $25^1/_3$, 38, 76 cm. Quecksilberhöhe über dem Niveau im kurzen Schenkel.

Die (Fig. 222) giebt am kurzen Schenkel links von der Röhre die Luftvolumina bei verschiedenen Drucken: $^4/_5$, $^2/_3$, $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$, $^1/_5$; rechts von der Röhre die entsprechenden Drucke in Atmosphären: $1^1/_4$, $1^1/_2$, 2, 3, 4, 5 (obgleich man freilich bei diesem Apparate über 2 Atmosphären nicht hinauskommt). Am langen Schenkel steht links der gewöhnliche Maßstab nach cm., der in der Wirklichkeit nach mm. aufgetragen wird, rechts die Atmosphären Druck, wenn das Quecksilber bis zu den betreffenden Strichen reicht.

Um den Versuch mit zwei und mehr Atmosphären anzustellen, müßte man die Röhre aus mehreren Stücken zusammensetzen und sich hiezu eiserner oder stählerner Fassungen bedienen; auch müßten dann die beiden Röhren in ein eisernes Verbindungsstück eingekittet werden, das zum Ablassen des Quecksilbers mit einem Hahn zu versehen wäre.

β. Für verdünnte Luft. Dieser Versuch bezweckt, zu zeigen, daß, wenn der Druck nur ein Bruchtheil einer Atmosphäre beträgt, dann das Volumen der Luft um eben so viel größer wird. Man bedient sich dazu eines 80—90 cm. langen, 3—4 cm. weiten Rohrs (pq Fig. 223), das am einen Ende verschlossen ist; um ihm einen sicheren Stand zu geben kittet man es mit dem verschlossenen Ende in einen Fuß m von Eisen. Es ist zweckmäßig, das Rohr unten seitlich zu durchbohren und die Bohrung durch die eiserne Fassung zu führen, um einen Hahn h einzuschrauben, durch den das Rohr nach beendigtem Versuch vom Quecksilber entleert werden kann. Dieses Rohr dient nun lediglich als Gefäß; zum Versuche gehört noch die Maßröhre rs. Dies ist ein etwa 1 cm. weites, am einen Ende offenes, am anderen mit einem gut schließenden stählernen Hahn versehenes Glasrohr, etwas kürzer als das vorige; es wird calibrirt, so daß die Theile etwa 1 oder 2 cm. lang werden, aber durchweg gleichen Rauminhalt haben. Die Theilstriche werden zwar mit Diamant eingerissen, aber, um sie besser

sichtbar zu machen, noch mit schwarzer Oelfarbe bezeichnet und numerirt. Der Versuch wird nun in folgender Weise angestellt. Wir nehmen an, die Röhre sei in Centimeter getheilt. Man fülle die Röhre pq fast ganz mit Quecksilber, öffne den Hahn s und tauche die Maßröhre in das Gefäß pq so tief, daß das Quecksilber 1 cm. unter dem Nullpunkt der Theilung steht; man sehe genau zu, daß es aus- und inwendig gleich hoch stehe; dann schließe man den Hahn s, ziehe die Maßröhre so weit heraus, daß das Quecksilber inwendig beim Theilstrich 2 stehen bleibt; die eingeschlossene Luft befand sich erst unter dem Druck der Atmosphäre, weil vor dem Verschluß des Hahnes die Luft von beiden Seiten auf das innere und auf das äußere Quecksilber drücken konnte; nachdem die Röhre höher gehoben worden, wird man finden, daß das Quecksilber in der Maßröhre 38, d. h. $^1/_2$.76 cm. höher steht als das äußere; man hat also in der Röhre den unbekannten Druck x der auf das Doppelte ausgedehnten Luft, vermehrt um eine Quecksilbersäule von 38 cm. oder eine halbe Atmosphäre; von Außen drückt die Luft mit einer Atmosphäre; also drückt die auf's Doppelte ausgedehnte Luft mit $^1/_2$ Atmosphäre. Zieht man die Maßröhre so weit heraus, daß die eingeschlossene Luft 3 cm. einnimmt, so wird das innere Quecksilber $50^2/_3$ cm. über dem äußeren stehen; es ist aber $50^2/_3 = {}^2/_3$.76, also drückt die auf das Dreifache ausgedehnte Luft mit $^1/_3$ Atmosphäre, ganz dem Mariotteschen Gesetz entsprechend.

Hat das Gefäß oben eine Erweiterung, so daß man mit der Hand ins Quecksilber greifen kann, so kann man die Maßröhre am oberen Ende zuschmelzen und den Hahn entbehren. Man füllt dann die Maßröhre so, daß noch 1 cm. Luft über dem Quecksilber bleibt, verschließt sie mit dem Finger und taucht sie mit der Oeffnung unter das Quecksilber, ganz wie beim Torricellischen Versuch. Das Uebrige bleibt dasselbe wie oben. Da Hähne zuweilen nicht genau schließen, so dürfte diese Einrichtung besser sein. Statt eines Glasgefäßes kann man sehr vortheilhaft ein eisernes Rohr als Gefäß nehmen und zweckmäßig dazu vorrichten.

Fig. 223.

3. Die Luftpumpe.

Die Luftpumpe gehört zu den wichtigsten Apparaten einer zu Unterrichtszwecken bestimmten Sammlung; aber auch der Physiker, der entweder zu seiner Ausbildung oder zu wissenschaftlichen Zwecken eine

Sammlung anlegt, wird sie schwerlich entbehren können. Welche von den verschiedenen Arten man sich anschaffen soll, ob eine ein- oder zweistiefelige, eine Ventil- oder Hahnluftpumpe hängt von den zu Gebote stehenden Mitteln und von den Zwecken, die man damit verbindet, ab. Die Hahnluftpumpen sind dauerhafter als die Ventilpumpen und lassen sich überdies auch zum Verdichten gebrauchen, während man neben einer Ventilpumpe noch ein zweites Exemplar zum Verdichten haben müßte. Einstiefelige Pumpen sind bedeutend billiger als zweistiefelige; zwar wirken diese schneller, aber man kann bei einer einstiefeligen ja auch den Stiefel weiter und länger machen, so daß in der That kein großer Unterschied in der Wirksamkeit zwischen ihr und einer zweistiefeligen sein wird. Ich habe eine einstiefelige Pumpe, die das Mögliche leistet; der Stiefel liegt horizontal auf einem niedrigen Tisch, hat 42 cm. Länge und 6 cm. Durchmesser im Lichten; der Kolben wird durch Kurbel und Trieb bewegt. Pumpen mit Handbewegung, ohne Kurbel, sind zwar wohlfeiler, aber sehr mühsam zu handhaben, und, da der Durchmesser des Stiefels nur klein sein kann, — denn weite Stiefel erfordern auch mehr Kraftanstrengung, — wirken sie nur langsam, rauben also in der Schule dem Unterrichte viel Zeit. Diese kleineren Pumpen müssen beim Gebrauche mit einer Schraubzwinge an den Tisch befestigt werden; die größeren einstiefeligen, wie alle zweistiefeligen müssen ein eigenes Untergestell haben, das auf dem Fußboden steht und dessen Füße mittelst eiserner Winkel an den Fußboden festgeschraubt werden. Meine Luftpumpe kommt nie von ihrem Platze weg, denn sie müßte gerade da, wo sie gebraucht werden soll, jedesmal angeschraubt werden, was der kurzen Stunde zu viel Zeit rauben würde. Bei den Versuchen nehme ich die Schüler in's Cabinet, da dieses Raum genug bietet; Besorgniß, daß sie Etwas anfassen, was sie nicht sollen, habe ich gar nicht, denn Alles, was nicht zu den zur Zeit zu machenden Versuchen gebraucht wird, ist in den Schränken untergebracht; überdies lernen sie so viele Achtung vor den Instrumenten haben, daß diese ihnen stets mit einem noli me tangere gegenüberstehen, weil sie sehen, welchen Werth ich selbst darauf lege.

Bei der Anschaffung einer Luftpumpe wende man sich jedenfalls an eine bewährte Werkstatt, die in dem Rufe steht, gute, solide Arbeit zu liefern. Man lasse sich nicht durch etwas höheren Preis abschrecken, eine Pumpe von nur mittelmäßiger Arbeit ist entweder schon von Vorn herein unbrauchbar, oder wird es nach kurzer Zeit.

Bei der Prüfung einer Luftpumpe hat man zuerst auf die Solidität des Baues zu achten. Besondere Vorschriften lassen sich hierüber nicht geben, man muß durch längeren Gebrauch von Instrumenten aus verschiedenen Werkstätten sich einen Blick und Takt angeeignet haben, um sofort von einem vorliegenden Apparat einen günstigen oder ungünstigen Eindruck zu bekommen. Junge Physiker oder Lehrer der Physik, die bisher wenig oder keine Gelegenheit gehabt haben, Instrumente zu ge-

brauchen, werden daher bei so kostspieligen und wichtigen Apparaten, wie Luftpumpen u. dgl. am besten thun, sich bei der Anschaffung den Rath erfahrener Physiker zu erbitten.

Man sperre die Glocke gegen den Canal ab und pumpe aus, beobachte das Barometer, sperre auch den Stiefel gegen den Luftcanal und lasse die Pumpe mehrere Stunden stehen, um zu erfahren, wie lange sie das Vacuum hält. Eine gute Pumpe sollte eine Verdünnung bis zu $^1/_2$ Lin. Queckſilberhöhe zulassen und dieselbe wenigstens 4—6 Stunden ohne große Veränderung erhalten. Wenn man den Kolben bis auf den Boden des Stiefels gestoßen und nun durch Drehung des Hahns die Verbindung zwischen Stiefel und Glocke herstellt, so steigt das Queckſilber im Barometer gewöhnlich etwas, zeigt also eine Verminderung der Verdünnung, es ist Luft in den Raum des Canals eingedrungen (wir setzen voraus, daß die Glocke abgesperrt sei); diese Luft kommt aus dem schädlichen Raum. Ganz wird dieser Uebelstand nie zu vermeiden sein; aber er sollte kein beträchtliches Steigen des Queckſilbers veranlassen. Ist es beim Auspumpen des bloßen Canals, ohne Glocke, nur wenig, so kann man sich beruhigen, weil, wenn zugleich auch die Glocke ausgepumpt wird, dieser Fehler offenbar noch unbedeutender werden muß, da sich dann dieselbe Luftmenge auf Canal und Glocke vertheilt. Ist aber der Fehler erheblich, so nehme man die Pumpe nicht an. Man hat verschiedene Mittel zur Hebung des schädlichen Raumes versucht; aber bisher ist es für zweistiefelige Pumpen noch nicht völlig gelungen, den schädlichen Raum zu entfernen. Am besten erfüllt bei diesen Pumpen der Graßmann'sche Hahn (s. w. u.) den Zweck, aber doch natürlich wieder nur annähernd. Bei Ventilpumpen wird der Babinet'sche Hahn zu gleichem Zwecke verwendet. Bei einstiefligen Pumpen kann der schädliche Raum durch ein einfaches Mittel auf ein Minimum gebracht werden. Man giebt dem inneren Stiefelboden die Form eines Hohlkegels, dessen Spitze bis dicht an den Hahn reicht, und macht den Kolben nach Unten in genau gleicher Größe und Neigung kegelförmig. Der schädliche Raum ist bekanntlich der Raum des Canals zwischen der inneren Fläche des Stiefelbodens und dem Hahn; dieser Canal ist hier aber ganz ausgefüllt, so oft der Kolben heruntergestoßen ist; also kann bei Herstellung der Communication des Stiefels mit der äußeren Atmosphäre keine Luft über den Hahn hinaus nach der Seite des Stiefels gelangen. Um dies aber ganz zu verhindern, müssen die beiden Kegelflächen sehr genau auf einander passen; am besten ist es, sie auf einander abzuschleifen.

Eine weitere Untersuchung erfordern die Hähne. Jede Pumpe sollte deren drei haben (wir sprechen hier zunächst lediglich von Hahnluftpumpen): 1) den Steuerungshahn zwischen Stiefel und Luftcanal; 2) den Sperrhahn dicht unter dem Teller, um die evacuirte Glocke ganz abzusperren; 3) einen Sperrhahn am Barometer. Sämmtliche Hähne müssen aus einem härteren Messing, dem Rothguß, gemacht werden;

unbedingt ist dies nöthig für den Steuerungshahn, da dieser so oft gedreht werden muß. Um die Hähne zu prüfen drehe man sie, bei fest angezogener Schlußschraube, gefettet, wie sie vom Mechaniker geliefert worden, öfter in ihrem Lager herum; wenn dies geschehen, öffne man die Schlußschraube und nehme sie vorsichtig, d. h. ohne mit der Kegelfläche gegen den Rand der Höhlung zu stoßen, heraus und sehe nach, ob auf ihrer Oberfläche bemerkbare Ringe entstanden sind. Ist dies nicht der Fall, ist vielmehr die ganze fettige Fläche überall ganz gleichmäßig, so kann man mit den Hähnen zufrieden sein; sind Ringe entstanden, in denen die dünne Fettschicht weggerieben, das blanke Metall zu Tage getreten ist, so haben die Flächen sich in einzelnen Punkten mehr an einander gerieben als an anderen, die beiden Kegelflächen sind entweder nicht ganz gleichmäßig abgedreht, oder es sind in dem Metall einzelne harte Stellen, welche sich bei dem Drehen des Hahnes nicht so abreiben wie die benachbarten, also in die gegenüberstehende Fläche bei der Drehung Eindrücke machen. Im ersten Fall kann durch sorgfältigeres Abdrehen dem Uebel abgeholfen werden; im anderen Fall dagegen ist der Hahn unverbesserlich und muß durch einen neuen ersetzt werden.

Die Hähne dürfen auch nicht zu dünn im Durchschnitt sein, denn dünne Hähne können auch nur dünne Bohrungen erhalten, die sich durch das Fett leicht zusetzen, wo man denn oft nicht ahnt, woher alles Arbeiten an der Pumpe Nichts fruchten will. Am Steuerungshahn bringt man zu dessen Bewegung am zweckmäßigsten eine kleine Kurbel an; denn der Hahn muß, damit er luftdicht schließe, scharf angezogen werden; dann leistet er aber der Drehung einen nicht unbedeutenden Widerstand, besonders wenn etwa das Zimmer kalt, das Fett verdickt ist, und die Hand empfindet schmerzlich die Eindrücke der scharfen Kanten des Griffs; die Kurbel hat einen runden Griff und wirkt mit längerem Hebel, wodurch die Arbeit erleichtert wird. An älteren Pumpen findet man die Kegelflächen der Hähne stark geneigt, d. h. sie machen einen großen Winkel mit der Achse; solche Hähne lassen sich nie so gut anziehen und lösen bei öfterem Drehen leicht die Schlußschraube.

Unter den bei Luftpumpen vorkommenden Hähnen ist der Senguerd'sche Hahn der gewöhnlichste. Er dient sowohl als Steuerungs- wie als Sperrhahn; er ist in (Fig. 224 und 225) in zwei aufeinander senkrechten Durchschnitten dargestellt. Die durchgehende Bohrung mn und die Oeffnung o der schrägen Bohrung op liegen in demselben Querschnitt, und die Bogen mo und no am Umfang dieses Querschnittes betragen je 90°. Wenn bei der Hahnstellung der (Fig. 224) der Stiefel mit dem Luftcanal und der Glocke in Verbindung steht, so ist diese Verbindung bei der Stellung der Fig. 225 abgeschlossen und der Stiefel steht mit der äußeren Luft in Verbindung. Der Hahn bekommt erstere Stellung beim Verdünnen, wenn der Kolben in die Höhe gezogen, die andere, wenn der Kolben zum Boden zurückgeführt wird. Beim Verdichten ist die Hahnstellung die entgegengesetzte.

Der Graßmann'sche Hahn dient bei zweistiefligen Hahnluftpumpen dazu, den schädlichen Raum möglichst unschädlich zu machen. Die Figuren 226—228 stellen diesen Hahn in drei verschiedenen Lagen, die er während des Pumpens annimmt, im Durchschnitt dar. L,R sind die links und rechts gedachten Bodenplatten der Stiefel. Die Bohrung o, o geht senkrecht zur Achse des Hahns ganz hindurch, auf a, b

Fig. 224.

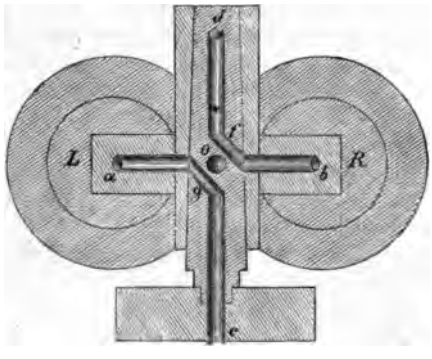


Fig. 226.

Fig. 225.

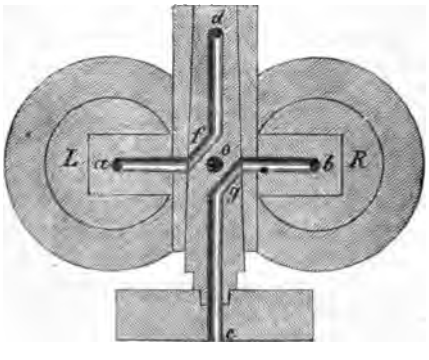


Fig. 227.

münden die Stiefel, die Bohrungen agc und bfd liegen in einer zu o senkrechten Ebene, dd steht wieder senkrecht zu der Ebene von agc und bfd und führt zur Glocke. Gesetzt, der Hahn habe die Stellung der (Fig. 226), so steht der Stiefel rechts über R durch den Canal bfd mit der Glocke in Verbindung, während der Stiefel links über L durch den Canal agc mit der freien Luft in Verbindung steht; es ist also der Augenblick, wo der Kolben von R steigt und Luft aus der Glocke ansaugt, der Kolben über L niedersteigt und die im Stiefel enthaltene Luft

durch den Canal agc ins Freie befördert. Dreht man den Hahn aus der Lage der (Fig. 226) um 180° in die Lage der (Fig. 227), so steht der Stiefel L mit der Glocke, R mit der äußeren Luft in Verbindung, der Kolben in L wird also im Steigen, der in R im Sinken begriffen sein. Dieses Spiel läßt man so lange fortgehen, als noch eine Abnahme der Dichtigkeit der Luft am Barometer zu bemerken ist. Von da ab wird der Hahn, nachdem der eine Kolben, etwa L, auf dem Boden, und der andere R oben angelangt ist, in die Stellung der (Fig. 228) gebracht; sinkt nun bei dieser Hahnstellung der Kolben R,

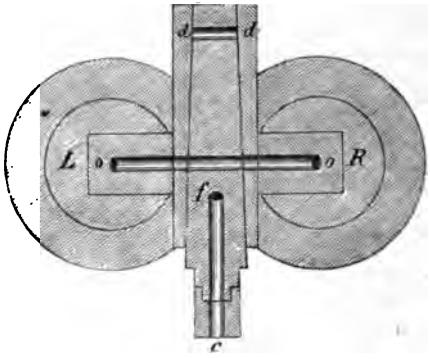


Fig. 228.

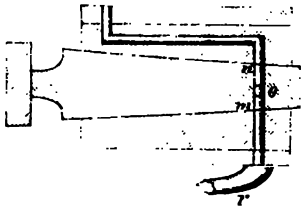


Fig. 229.

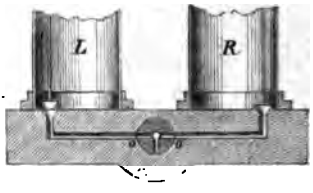


Fig. 230.

so wird sämmtliche im Stiefel R befindliche Luft nach dem Stiefel L hingetrieben, und da der schädliche Raum zwischen dem Kolben in R und dem Hahn jetzt nicht, wie sonst gewöhnlich, mit der äußeren Luft in Verbindung gestanden, so wird sich darin nur so verdünnte Luft befinden, wie im Stiefel L. Bringt man also jetzt den Hahn in die Lage der (Fig. 226) und läßt den Kolben in L herunter gehen, so tritt diese Luft ins Freie; der Kolben von R hat sich dabei gehoben und hat Luft aus der Glocke angesaugt; stellt man den Hahn jetzt wieder in die Lage von (Fig. 228), hebt den Kolben L in die Höhe und senkt R, so wird die Luft wieder aus L nach R hin getrieben, die dann bei Wiederherstellung der Hahnlage

von (Fig. 226) und Senken des Kolbens von L ins Freie geführt wird. Allemal wird verhindert, daß Luft von der Dichtigkeit der äußeren in den schädlichen Raum gelange.

Bei den zweistiefligen Ventilpumpen wird, ebenfalls zur Verminderung des schädlichen Raumes, mittelst Babinet's Hahn dasselbe Princip angewendet wie beim Graßmann'schen für Hahnluftpumpen. Der Hahn an sich ist sehr einfach, da er nur eine T-förmige Durchbohrung hat, d. h. einmal ganz und senkrecht darauf halb durchbohrt ist, wie (Fig. 229) zeigt, wo erstere Bohrung durch mn, letztere durch o dargestellt ist. Man dreht nun den Hahn Anfangs in die Stellung der (Fig. 230), wo die durchgehende Bohrung beide Stiefel mit einander verbindet, und pumpt so lange mit der bloßen Hülfe der Ventile, bis das Barometer stationär wird und keine weitere Verdünnung wahrnehmen läßt. So lange bleibt der Hahn unverändert stehen. Rücksichtlich der Ventile ist noch zu erwähnen, daß in den beiden letzten Figuren sogenannte Stöpselventile angewendet sind; es sind Metallkegel a (Fig. 231), die an Stangen ac befestigt sind, welche durch den Kolben k hindurchgehen, oben einen festen Ansatz b haben, mit dem sie gegen die Decke der Stiefel anstoßen, während die Stange bis zu diesem Ansatz b hindurchgeht; diese kann sich also bis zu einer bestimmten Höhe heben und der Kolben gleitet bei weiterem Steigen mit einiger Reibung über sie weg. Beim Heruntergehen des Kolbens drängt sich der Kegel a in die gleichgeformte Höhlung im Stiefelboden und schließt so den Stiefel ab, so daß die unter dem Kolben enthaltene Luft nur durch das Kolbenventil nach Oben hin entweichen kann. So lange der Kolben nicht zu willig über die Ventilstange schleift sind diese Ventile recht gut; bei älteren Pumpen versagen sie aber häufig; sie haben aber vor den Blasenventilen den Vorzug, daß sie auch noch wirken, wenn diese wegen zu großer Verdünnung der Luft, sich nicht mehr öffnen.

Wenn nun bei einer Pumpe mit Babinet'schem Hahn die Verdünnung nicht weiter fortschreitet, so kommt der Hahn in Anwendung; man dreht ihn dann um 90° und bringt ihn in die Stellung der (Fig. 232), so daß die durchgehende Bohrung oo senkrecht zu stehen kommt, wie dies auch in (Fig. 229) der Fall ist; ist dann der Kolben im Cylinder R unten, also der in L oben, so wird beim nächsten Pumpen der Kolben R steigen, L sinken. Nun setzt eine auch schon in (Fig. 229) durch r angedeutete Röhre, welche in (Fig. 233) durch die punktirten Linien zwischen c und f ebenfalls angegeben ist, die beiden Stiefel mit einander in Verbindung; aber der Stiefel R ist gegen die Glocke abgeschlossen, weil die halbe Durchbohrung nach der völlig geschlossenen Seite rechts, die ganze von Oben nach Unten gekehrt ist. Geht also der Kolben in R in die Höhe, so saugt er durch die Röhre cf nur Luft aus dem Cylinder L, nicht aus der Glocke. Wenn aber der Kolben R den Cylinder L von Luft entleert, so geht damit zugleich die Luft aus dem schädlichen Raum von L nach R hinüber, während L

immer mit der Glocke in Verbindung steht und Luft aus dieser ansaugt. Der schädliche Raum der Pumpe kommt also nie mit der äußeren Luft in Zusammenhang, kann höchstens nur Luft von der Dichtigkeit derjenigen im Cylinder R aufnehmen, der hier dieselbe Rolle spielt, wie die freie Atmosphäre bei den gewöhnlichen Pumpen ohne diesen Hahn. Die (Fig. 233) gestattet, den Gang der Luft bei der zuletzt angegebenen

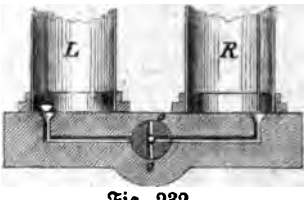


Fig. 232.

Fig. 231.

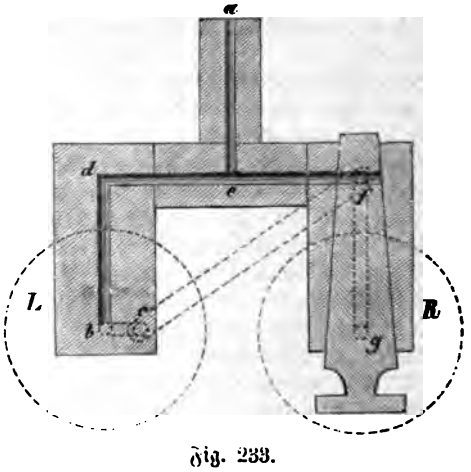


Fig. 233.

Hahnstellung ganz genau zu verfolgen. Geht der Kolben des Cylinders L (links) in die Höhe, so folgt ihm die Luft aus der Glocke durch den Canal aedb; von b geht sie durch einen etwas tiefer liegenden Canal nach c, von da unterhalb durch das halbkreisförmige Rohr cf in die durchgehende Bohrung des Hahnes (mn der Fig. 229) in den Canal fg und den Cylinder R. Es ist zu bemerken, daß der Canal fg nicht etwa, wie es scheinen könnte, im Hahn selbst liegt, sondern in der ihn umhüllenden Wand senkrecht über seiner Längenachse. Bei der schon eingetretenen großen Verdünnung der Luft hat diese bei Niedergang des Kolbens in L nicht die Kraft das Kolbenventil zu heben, sie muß also vor dem Kolben her durch b, c nach f und g, nach dem Kolben in R gehen. Wenn sie hier beim Niedergange dieses Kolbens auch nicht

sofort das Ventil zu öffnen vermag, so bleibt sie eben in diesem Raume, denn durch das Bodenventil in R kann sie auch nicht entweichen, weil dieses Ventil ja, wenn der Kolben heruntergeht, geschlossen ist. Wenn bei weiterem Pumpen eine neue Portion Luft aus L hinzukommt, so wird sie so viel Widerstandskraft gewinnen, um das Kolbenventil zu öffnen und nach Oben zu entweichen. Durch diese sinnreiche Einrichtung wird es möglich, die Luft im Recipienten fast bis zu einem beliebigen Grad zu verdünnen.

Die innere cylindrische Stiefelfläche muß spiegelblank ausgeschliffen und polirt sein; dies geschieht mittelst eines abgedrehten eisernen Dorns, so dick, wie der Cylinder weit ist, und den feinsten Polirmitteln. Den Kolben macht man am besten aus einem hohlen Messingcylinder, über den eine Kappe von sämischgarem Leder (ohne Naht) so übergezogen wird, daß sie sich überall genau, aber ohne Falte, an denselben anlegt. Solches Leder läßt sich feucht oder geölt in jede Form bringen, so auch faltenfrei über einen Cylinder ziehen. Nachgehend wird es mit Knochenöl etwas gefettet.

Die Zähne der Kolbenstange und des Triebes sollten epicykloidisch sein, weil sie bei dieser Form am richtigsten in einander eingreifen, weniger Reibung haben als bei jeder anderen Form und die Bewegung des Kolbens erleichtern. Bei richtiger Form der Zähne ist es kaum nöthig, ihnen Fett zu geben, wenigstens darf es nur sehr wenig sein, weil es durch den Staub, dem die äußeren Theile ausgesetzt sind, schmierig wird. Die Kurbel muß so eingerichtet werden, daß sie eine bedeutende Hebelkraft bietet und der Griff mit beiden Händen gleichzeitig gefaßt werden kann. Bei größeren, zweistiefligen Pumpen pflegt man die Bewegung durch ein Rad oder auch durch eine Kurbel mit zwei Griffen zu vermitteln.

Einer besonderen Prüfung bedarf noch das Barometer. Gewöhnlich wendet man abgekürzte Barometer an, da die vollen manche Uebelstände mit sich führen. Ein abgekürztes Barometer muß sich in einer besonderen kleinen Glocke befinden, welche auf ihre mit dem Luftcanal in Verbindung stehende Unterlage, auf der das Barometer mit Scala angebracht ist, luftdicht aufgeschraubt wird. Dazu müssen beide Theile, die Unterlage und die Fassung der Glocke, um die Schraube herum einen breiten, flach gedrehten Ring haben, so daß der Anschluß mit nur wenig Fett luftdicht wird. Die Schraube darf nicht zu wenig Gänge haben. Sehr wichtig ist natürlich, daß das Barometer über dem Quecksilber ein absolutes Vacuum habe; denn sonst täuscht man sich über die Wirksamkeit der Pumpe, indem in einem nicht ganz luftleeren Barometer der Quecksilberspiegel sogar unter Null sinken kann, obgleich noch Luft in der Glocke ist, die auf das Quecksilber des anderen Schenkels drückt. Aber auch bei den gewöhnlichen Versuchen hat man nie ein richtiges Maß für den Grad der Verdünnung, wenn das Barometer nicht richtig ist. Wenn die Menge der im Barometer zurück-

gebliebenen Luft nicht gerade so groß ist, daß sie eine Blase bildet, so ist die Prüfung nicht leicht; es bleibt nichts Anderes übrig, als durch den Klang des gegen die Decke der Röhre stoßenden Quecksilbers zu entscheiden. Man schließe die Glocke ab, pumpe den Canal so weit aus, daß das Quecksilber im Barometer etwa 1 cm. unter die Decke der Röhre fällt, lasse dann Luft zuströmen, so wird man, wie oben beim Barometer gesagt wurde, hören, ob der Klang hell oder dumpf ist und danach entscheiden. Findet man, daß Luft vorhanden, so muß die Röhre abermals ausgekocht werden.

Der Teller einer größeren Pumpe muß etwa 25 cm. Durchmesser haben und aus einer Platte von dickem Spiegelglas bestehen, welche auf eine Messingplatte gekittet ist; um der letzteren die nöthige Festigkeit zu geben, erhält sie an der Unterfläche im Guß sechs radicale Stäbe auf hoher Kante. Glas- und Metallplatte sind in der Mitte durchbohrt; der Rand der Bohrung ist am Glase schräg ausgefräst, in das Metall ist eine Schraube geschnitten, die einen ebenfalls durchbohrten Knopf aufzunehmen bestimmt ist; die Bohrung in diesem Knopfe geht von Unten bis zur halben Höhe, dann horizontal. Man sollte wo es nur irgend angeht, den Knopf stets aufsetzen, wenn die Pumpe gebraucht wird, um zu verhindern, daß fremde Körper in den Canal hineinfallen, wie z. B. Wasser, oder, was noch schlimmer ist, Quecksilber, da dieses schwer wieder daraus zu entfernen ist und, wenn es längere Zeit mit dem Messing in Berührung bleibt, dieses angreift und die Pumpe ganz verdirbt. Hat man größere Gefäße auf den Teller zu setzen, denen der Knopf in der Mitte des Tellers im Wege steht, so lege man einige zu diesem Zweck zugeschnittene Stückchen Holz auf den Teller, welche eben so hoch sind wie der Knopf, und stelle das Gefäß auf diese, um nur nicht genöthigt zu sein, den Knopf abzunehmen.

Um nicht große Räume zu evacuiren, wo man mit kleinern auskommen kann, muß man Glocken verschiedener Größe haben. Alle diese Glocken müssen am Rande mit einer dicken Glaswulst versehen sein, die unten eben geschliffen wird. Glocken ohne solche Wulst sind völlig unbrauchbar. Daß auch der Teller sehr eben geschliffen sein muß, ist selbstverständlich; am besten ist es, Glocke und Teller mit feinem Smirgel auf einander abzuschleifen. Eine gut abgeschliffene Glocke muß bei der Luftverdünnung auch ohne alles Fett dicht schließen. Nach längerem Gebrauche freilich wird dies nicht mehr der Fall sein, denn der feine, unbemerkbare Staub, der sich immer mit der Zeit darauf legen wird, ritzt das Glas des Tellers und der Glocke, wenn sie auf einander gerieben werden; manche andere Zufälligkeiten mögen ebenfalls dazu beitragen. Man sollte dann die Glocke auf dem Teller nachschleifen.

Hat eine Pumpe alle im Vorstehenden erwähnten Prüfungen bestanden, so muß man noch untersuchen, 1) welchen Grad der Luftverdünnung sie zu geben, und 2) wie lange sie diese Verdünnung bei abgeschlossenem Hahne zu erhalten vermag. Eine neue Pumpe müßte

wenigstens die Luft auf nahezu $^1/_2$ mm. oder doch $^1/_4$ Linie Quecksilberhöhe verdünnen und diesen Zustand mehrere Stunden unverändert erhalten. Schon gebrauchte Pumpen werden selten das leisten.

Ist man im Besitze einer guten Pumpe, so sollte man auch mit allen Kräften dahin streben, sie sich möglichst lange in gutem Zustande zu erhalten. Abnutzung wird natürlich immer eintreten und dadurch die verdünnende Kraft der Pumpe nach und nach vermindert werden; aber die Dauer der Leistungsfähigkeit wird denn doch bedeutend von der Behandlung, die sie erfährt, abhängen. Die erste Rücksicht ist, daß man sie möglichst vor Staub bewahre. Kleinere Handpumpen werden in Schränken aufbewahrt; größere aber, mit eigenen Untergestellen, die ja auch am Fußboden festgeschraubt werden, können nicht in Schränke gebracht werden, man muß sie daher irgendwie zudecken. Man kann eine Hülle von dichtem Zeug darüber legen, oder eigene Kasten aus Pappe oder dünnem Holz machen, die gerade auf die Platte passen, auf welcher die Stiefel angebracht sind. Wo dies nicht angeht, muß man sich mit einer Zeugdecke helfen.

Eine weitere Rücksicht, die man der Luftpumpe schuldig ist, betrifft die Reinlichkeit. Wenn mehrere Versuche damit gemacht sind, so wird sich hie und da Fett, Wasser ꝛc. angesetzt haben; nach Beendigung der Versuche reinige man die Pumpe von allen solchen Ueberresten. Experimentirt man mit Quecksilber, so gebe man sich alle mögliche Mühe, daß diese gefährliche Flüssigkeit nicht mit den inneren Metalltheilen in Berührung komme; äußerlich ist das Messing gefirnißt, eine augenblickliche Berührung damit wird also nicht schaden, es darf aber kein Quecksilber längere Zeit darauf liegen bleiben. Am gefährlichsten ist natürlich das Quecksilber den Löthungen mit Zinn. Hat man Grund anzunehmen, daß durch irgend ein Versehen, auch nur einige Tröpfchen Quecksilber in die Röhrenleitung eingedrungen seien, so muß die Pumpe auseinander genommen und im Inneren gründlich gereinigt werden. Am besten geschieht dies natürlich vom Mechaniker. Eine solche Reinigung aller Theile ist überhaupt von Zeit zu Zeit nöthig, d. h. nach einer Reihe von Jahren, auch wenn keine besondere Veranlassung dazu auffordert. Dabei entferne man alles alte Fett, reinige alle Theile sorgfältig, ersetze verbrauchte Lederscheiben durch neue und setze Alles wieder ordnungsmäßig zusammen, wobei darauf zu achten, daß alle Schrauben an dieselben Stellen gebracht und ausreichend angezogen werden. Das anzuwendende Leder muß gefettet werden; man wende hierbei die weicheren oben angegebenen Mischungen an und sorge dafür, daß das Leder ganz von dem Fett durchzogen wird, was man am leichtesten dadurch erreicht, daß man es in die heiß gemachte Masse eintaucht und das überflüssige nachträglich abstreicht.

Bei dem Gebrauche der Pumpe vermeide man alle stärkeren Erschütterungen derselben; solche rühren am öftersten daher, daß Ungeübte beim Pumpen den Kolben heftig gegen die untere und obere Decke des Cylinders stoßen; man muß zwar den Kolben beiderseits bis zum An-

schlag bewegen, aber dieser muß mäßig sein und eigentlich nur von der bewegenden Hand gefühlt werden, er darf sich nie laut hörbar machen. Solche Erschütterungen sind für die Pumpe sehr nachtheilig, indem sie, oft wiederholt, die Fugen lösen, welche luftdicht schließen sollen, ja selbst die Löthungen zum Weichen bringen, und unter Umständen das Quecksilber im Barometer in eine so heftige Bewegung versetzen können, daß es zum offenen Schenkel herausspritzt; Gegenstände, die sich unter der Glocke befinden, werden aus der Stelle gerückt, mitunter dabei so verschoben, daß der beabsichtigte Versuch nicht gelingen kann; Flüssigkeiten spritzen herum, besudeln Glocke und Teller und was sonst auf diesem steht, und können dadurch ebenfalls zum Mißlingen des Versuchs führen.

Daß der Rand der eigentlichen Glocke genau eben abgeschliffen werden und selbst ohne Fett luftdicht an den Teller schließen muß, ist bereits gesagt. Man hat aber noch so manche andere Gegenstände, kleinere Glocken und andere Apparate, die mit messingenen Fassungen versehen sind und ebenfalls luftdicht aufsitzen sollen, die aber nicht immer in aller Strenge dieser Forderung genügen. Natürlich muß der Rand solcher Gegenstände vor dem Aufsetzen gefettet werden. Dabei erwärme man den Rand über der Spiritusflamme ringsum etwas, aber nicht zu stark, und streiche dann etwas Fett auf. Oft reicht das auch noch nicht aus, um einen luftdichten Schluß zu bekommen; beim anfangenden Pumpen drücke ich daher, während ich mit der rechten Hand den Hahn drehe (die Kurbel lasse ich stets von einem Anderen drehen), mit der linken so auf den oberen Theil solcher Körper, daß der Druck in seiner Fortpflanzung nach Unten verschiedene Punkte des Randes trifft. Nach wenigen Kolbenzügen ist es dann nicht mehr nöthig, da der Luftdruck diesen Dienst selbst übernimmt. Das Drehen des Steuerungshahns übernehme ich selbst, weil dazu eine stete Aufmerksamkeit gehört und ein einziges Versehen alle vorangegangene Arbeit vernichtet, da bei einer unrichtigen Drehung des Hahnes sofort Verdichtung in der Glocke entsteht. Unter Umständen hebt sich bei solchem unrichtigen Drehen des Hahnes die Glocke gewaltsam vom Teller und es kann dann geschehen, daß ein Stück aus dem Rande der Glocke ausgebrochen wird.

Wenn ein Versuch beendigt ist und Luft zur Glocke zugelassen werden soll, so darf man, wenn das Barometer nicht etwa einen eigenen Hahn hat, durch den man die Barometerglocke abschließen kann, den Sperrhahn nicht auf einmal öffnen, weil sonst das Quecksilber des Barometers so heftig gegen die Decke des Rohrs geschlagen wird, daß die Rückwirkung einen Theil desselben zum offenen Schenkel herauswirft. Hat die Barometerprobe einen eigenen Hahn, so kann man freilich diesen vorher schließen, muß dann aber beim Zulassen der Luft zum Barometer dieselbe Vorsicht beobachten. Es ist unbegreiflich, daß viele Mechaniker es versäumen, dem Barometer einen eigenen Hahn zu geben. Bei manchen Versuchen ist es ohne solchen gar nicht möglich, die eben erwähnten Mißstände zu vermeiden, z. B. beim Sprengen der Blase

und der Glasplatte. Die kleinen Barometer an Luftpumpen werden gewöhnlich aus starkem Glase gemacht; sollte aber zufällig das Glas nicht von hinreichender Stärke sein, so könnte beim plötzlichen Luftzutritt in der That der obere Theil des Barometerrohrs durch den Stoß des schweren Quecksilbers abgeschleudert werden.

Wenn zu dem inneren Raum der Glocke die atmosphärische Luft wieder zugetreten ist, und die Glocke vom Teller abgehoben werden soll, so darf man, besonders wenn der Rand derselben gefettet worden, sie nicht mit Gewalt hoch heben, denn man müßte dabei die Adhäsion überwinden, die durch den vorhergegangenen Luftdruck bedeutend geworden; meist wird dies auch gar nicht möglich. Man schiebe vielmehr die Glocke nach dem Rande des Tellers und selbst über diesen hinaus; sie wird sich dann leicht abheben lassen ohne Schaden zu nehmen.

Wendet man eine Hahnluftpumpe zum Verdichten an, wobei bekanntlich der Hahn die entgegengesetzten Stellungen von denen beim Verdünnen erhält, so muß das Pumpen mit großer Vorsicht ausgeführt werden, denn einmal können die Gefäße, in denen die Luft verdichtet wird, durch zu starken Druck zerspringen, dann aber können auch die Luftcanäle leiden, denn ein Druck gegen die innere, hohle Fläche wirkt viel nachtheiliger und energischer als wenn derselbe Druck gegen die äußere, gewölbte Fläche ausgeübt wird.

Wie soll ein Gefäß, in dem man die Luft verdichten will, eingerichtet sein? — Sicher und unbedenklich ist ein Ballon mit messingener Fassung und Hahn an der zum Hals verlängerten Oeffnung, woran eine Schraube geschnitten ist, welche in die Mutterschraube des Tellers der Luftpumpe paßt. Aber die Oeffnung eines solchen Ballons kann nur klein sein, größere Gegenstände können daher nicht hineingebracht werden. Man hat verschiedene Vorrichtungen vorgeschlagen, um Glocken mit weiteren Oeffnungen Zwecks Luftverdichtung an den Teller der Pumpe zu befestigen, z. B. durch einen eisernen Rahmen, bei dem Eisenstäbe aneinander geschraubt und gegen die Glocke gedrückt werden, in der Weise, daß vier, ein Quadrat bildende Stäbe unter dem Teller und vier über der Glocke durch eben so viel verticale Stäbe verbunden und mit Schrauben zusammengehalten werden. Jedenfalls wird man zwischen die Glocke und die oberen Stäbe weiche Körper bringen müssen, wenn dieses Gerüst überhaupt von einigem Nutzen sein soll. Da ich keine eigene Erfahrung darüber habe, so kann ich kein Urtheil aussprechen; schwerlich aber wird die Glocke bei auch nur zwei Atmosphären Druck luftdicht am Teller halten.

Die (Fig. 234) stellt eine einstiefelige Hahnluftpumpe vor. Sie ist auf einem niedrigen Tische AB befestigt, dessen Füße mittelst eiserner Winkel unverrückbar an den Fußboden geschraubt werden. Der Stiefel SS liegt horizontal auf der Tischplatte. Die gezahnte Kolbenstange s wird mittelst Trieb T und Kurbel K bewegt; h ist der Griff des Steuerungshahns, der, um den schädlichen Raum so klein als möglich zu machen, ganz an den Stiefelboden gebracht ist. Zu gleichem Zwecke

bildet der Boden inwendig einen hohlen Kegel, während der Kolben P (Fig. 235, welche einen horizontalen Durchschnitt des Hahns, Kolbens und eines Theils des Cylinders darstellt), nach Unten ebenfalls Kegelform hat; beide Kegel sind sorgfältig in einander abgeschliffen, damit sie genau gleiche Form bekommen; der Kolben ist übrigens wie oben bemerkt, ganz und gar mit einem Stück weichen Leders überzogen. Um dem Steuerungshahn h nur gerade die nöthige Drehung (um 90°) aus der einen Stellung in die andere zu geben, ist bei i (Fig. 234) ein Stahlstäbchen senkrecht in den Griff geschraubt, das in einen Schlitz in der Tischplatte greift; wenn durch den Senguerd'schen Hahn der Stiefel

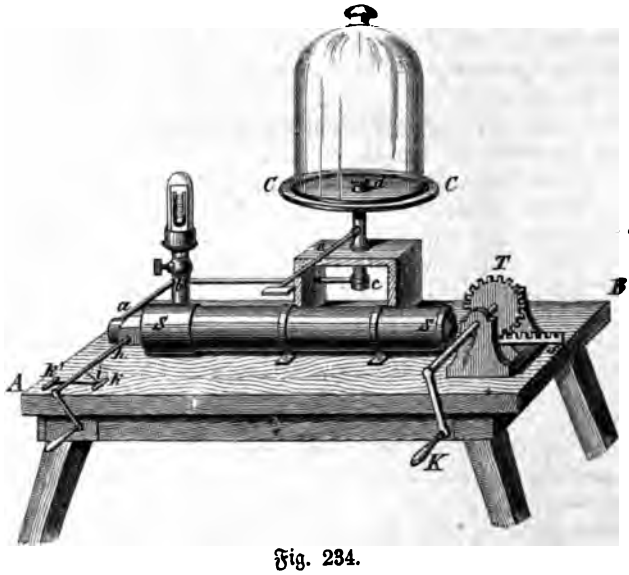


Fig. 234.

mit der freien Luft in Verbindung gesetzt ist, schlägt dieses Stäbchen bei k gegen den rechten, mit einem Messingplättchen belegten Rand des Schlitzes an; steht der Stiefel in Verbindung mit der Glocke, so schlägt es bei k' gegen den linken, ebenfalls mit Metall belegten Rand des Schlitzes an. Das Rohr abcd vermittelt die Communication zwischen dem Stiefel und der Glocke; bei b ist die Barometerprobe mit Hahn in einer besonderen kleinen Glocke eingeschaltet. Bei d ist der Teller CC auf das Rohr geschraubt; die Mutterschraube des Tellers bleibt nach Oben hin noch frei, um die Schraube d aufzunehmen, in welcher die Bohrung von Unten her nicht ganz durch, sondern in der Mitte des Kopfes horizontal weiter geführt ist, um zu verhindern, daß feste oder flüssige Körper in den Canal hinein fallen. Der Sperrhahn e ist, wie der Steuerungshahn h, ein Senguerd'scher. Die Griffe der beiden Hähne

lassen sich, da sie etwas weit vorstehen, abnehmen und in einem unter den Tisch angebrachten Schubkasten verwahren; eben so die Kurbel K des Triebs. Um die Form der Griffe beider Hähne anschaulich zu machen dient (Fig. 235), np bei m sieht man am Steuerungshahn einen Stift; n ist ein Hohlcylinder mit einem Schlitz, der auf m aufgestülpt wird, so daß der Stift m in den Schlitz zu stehen kommt. Da die Wand des Hohlcylinders den ganzen bei der Drehung des Hahns ausgeübten Druck auszuhalten hat, so muß man die Wand stark im Metall machen; am besten ist es, den Cylinder gießen zu lassen, Blech reicht nicht aus. Ich habe an meiner Pumpe die Griffe der Hähne so lang machen lassen, weil ich, wenn die Pumpe nicht gebraucht wird, nachdem Glocke und Teller abgenommen, einen Kasten über das ganze Instrument setze, der auf der Tischplatte aufsitzt und so dasselbe vor Staub sichert. Das Barometer steigt durch eine Oeffnung im Deckel über diesen

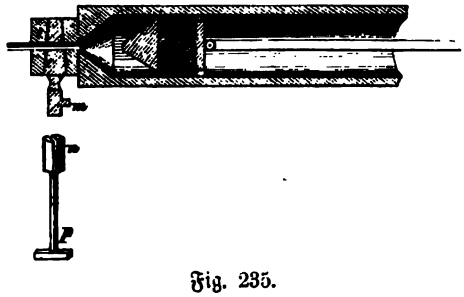


Fig. 235.

Tubus, Teller und Glocke werden aufgesetzt, nachdem der Kasten überdeckt worden; für die Kolbenstange ist an der betreffenden Stelle in die Seitenwand des Kastens ein Loch geschnitten, eben so für die Griffe der beiden Hähne. Man kann so die Pumpe gebrauchen, ohne den Deckel abzunehmen, was seine großen Annehmlichkeiten hat.

In (Fig. 236) geben wir noch eine perspectivische Ansicht einer zweistiefligen Hahnluftpumpe mit gläsernen Stiefeln, deren Einrichtung dann ohne Weiteres deutlich sein wird. Das Glas hat den Vortheil vor dem Messing, daß seine Wandungen für die Luft vollkommen undurchdringlich sind, während sich im Messing zuweilen Gußlöcher befinden, von denen feine Canäle durch die ganze Dicke der Wandung hindurchführen. Ueberdies sieht man bei ihnen das Spiel der Kolben, was an sich gerade nicht nöthig, aber doch für den Unterricht recht zweckmäßig ist. H ist der Graßmann'sche Hahn, von dem das Leitungsrohr rr ausgeht und nach der Glocke G führt, wo der Teller TT, die Schraube s und der Sperrhahn I gerade so eingerichtet sind, wie wir es oben bei der einstiefligen Pumpe beschrieben haben. BB ist das Barometer mit dem Sperrhahn h, der nur einfach durchbohrt ist und durch das Rohr vv, das zugleich nach der Glocke führt, mit dem

Leitungsrohr rr in Verbindung steht. Das in die gezahnten Kolbenstangen eingreifende Trieb ist in der Figur nicht zu sehen; es befindet

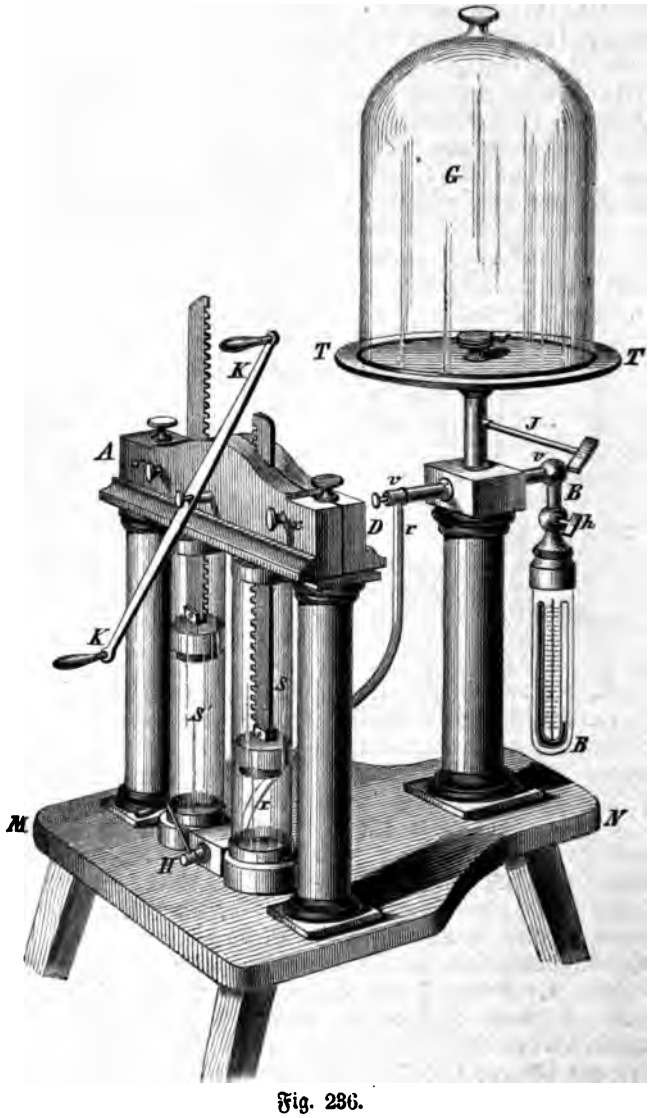


Fig. 236.

sich in dem aus zwei starken Holzplatten zusammengesetzten, durch die Schrauben xx zusammengehaltenen Körper AD und wird durch die

Doppelkurbel KK bewegt. Statt der geradlinigen Kurbel haben manche Pumpen ein großes messingenes Rad, ebenfalls mit zwei Handgriffen. Das Ganze ruht auf einem sehr starken Tisch mit drei Füßen, welche zweckmäßig an den Fußboden festgeschraubt werden.

Von der Ventilpumpe begnügen wir uns, in (Fig. 237) die einstiefelige in der gewöhnlichen Form durch eine Zeichnung zu veranschaulichen. Der Stiefel AB liegt schief; der Kolben c wird mittelst des Griffes E auf- und niederbewegt; bei c ist das Kolbenventil, über welchem ein kleiner Canal nach der Oberfläche des Kolbens führt; bei d ist das Bodenventil; beide sind hier als Blasenventile gedacht, ersteres

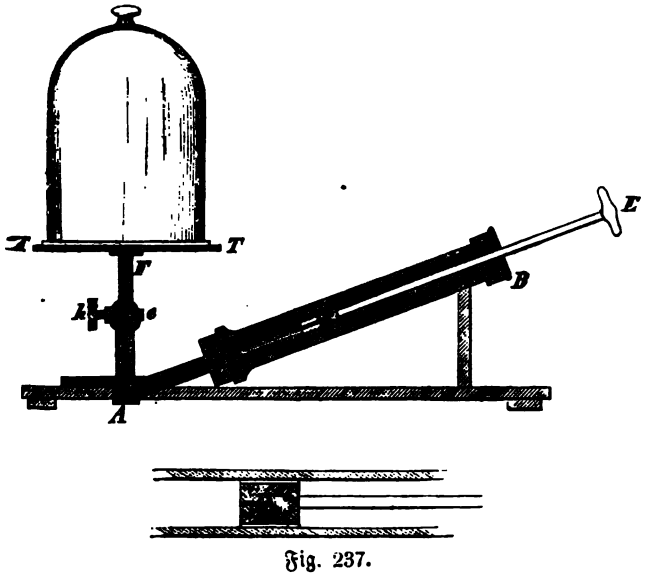


Fig. 237.

auch in der Nebenfigur bei c noch etwas größer und deutlicher dargestellt. Bei h ist der Hahn entweder mit Senguerd'scher Bohrung, oder auch mit einfacher Bohrung, wenn irgendwo in den Luftcanal ein Seitenloch gebohrt ist, das sich mit einer Schraube schließen läßt. Der Canal AF führt nach dem Teller TT, auf welchem die Glocke steht. Zieht man den Kolben c vom Boden aus bei geöffnetem Hahne in die Höhe, so drückt die von der Glocke aus heranströmende Luft das Bodenventil d auf, die Luft folgt dem Kolben nach und füllt den ganzen Stiefel AB aus. Drückt man dann den Kolben c herunter, so stößt die Luft gegen das Bodenventil d und schließt es; sie drückt aber nun gleichzeitig gegen das Kolbenventil c von Unten her, öffnet also das Ventil; die Luft strömt durch das geöffnete Ventil und den engen Canal im Kolben nach Oben und entfernt sich bei dem nachfolgenden Herauf-

ziehen des Kolbens durch die Oeffnung in der Decke des Stiefels, da wo die Kolbenstange durchgeht. Das Pumpen wird nun, ohne Hahndrehung, so lange fortgesetzt, bis eine unter die Glocke gesetzte Barometerprobe eine zum Zwecke hinreichende Verdünnung anzeigt. Ist diese erreicht, so schließt man den Hahn, so daß die Glocke sowohl gegen den Stiefel, wie gegen die äußere Luft abgeschlossen ist. Will man wieder Luft zulassen, um die Glocke abzunehmen, so dreht man den Hahn h, wenn es ein Senguerd'scher ist, so, daß die schiefe, von der Rückseite e herkommende Bohrung in der Richtung nach der Glocke hin auf den Luftcanal mündet. Ist aber h ein einfach durchbohrter Hahn, so bringt man die Bohrung in die Verticale und zieht die oben erwähnte Schraube aus der Seitenöffnung des Canals heraus.

Solche einfach construirten Pumpen sind billig; man kann aber auch nicht die Leistung von ihnen erwarten, welche zweistiefelige geben, welche mit allen Hülfsmitteln der Mechanik ausgestattet sind. Daß ein so leichtes Instrument durch ein paar Schraubzwingen an den Tisch festgeschraubt werden muß, ist selbstverständlich.

Es wäre hier noch die Quecksilber-Luftpumpe zu erwähnen; da sie jedoch, wegen der großen Quecksilbermasse, die dazu erforderlich ist, sehr theuer zu stehen kommt, so wird sie wohl nie eine allgemeine Anwendung finden; mir steht überdies kein Exemplar zu Gebote, um eine Originalzeichnung davon geben zu können. Der Leser wird sie wohl in diesem Buche nicht ungern vermissen.

4. Nebenapparate zur Luftpumpe.

a. Ein Ballon, um das Gewicht einer Volumeinheit Luft zu bestimmen (Fig. 238). Behufs eines später anzuführenden Versuchs ist in dem Ballon eine kleine Klingel angebracht, die sich aber bei den Versuchen, wo sie nicht gebraucht wird, leicht herausnehmen läßt. Ein Glasballon A von 8—10 Liter Inhalt ist mit einer messingenen Fassung und Hahn h versehen; man tarire ihn auf der Wage, fülle ihn mit Wasser und wäge dieses ab. So viele Kgr. das Wasser wiegt, so viele Liter beträgt der Inhalt des Ballons. Hat man selbst keine Wage, auf der sich etwa 10 Kgr. abwägen lassen, so besorge man dieses Geschäft wo Gelegenheit dazu vorhanden ist ein für allemal und notire den so gefundenen Inhalt des Ballons. Man sollte die Abwägung der Luft nicht vornehmen, so lange der Ballon inwendig naß ist; es wird also um so besser sein, daß man diese Abwägung nicht unmittelbar vor dem Versuche zu machen braucht. Nun schraube man den Ballon mit der Schraube s auf die Luftpumpe (die Schraube der Fassung muß natürlich auf die der Pumpe passen), öffne den Hahn

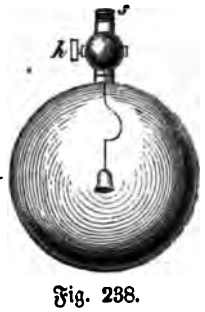


Fig. 238.

und pumpe aus, schließe den Hahn und wäge den Ballon auf der Wage ab, wo noch die Tara für den blos mit Luft gefüllten Ballon liegt; man wird ein kleineres Gewicht finden; dieses bestimme man, d. h. man suche, wie viel man auf die Schale, an der der Ballon hängt, zulegen muß, um der Tara das Gleichgewicht zu halten; dies ist das Gewicht der im Ballon enthalten gewesenen Luft.

Die Abwägungen des Ballons lassen sich am bequemsten an der Schale mit kurzer Aufhängung machen; um die Fassung des Ballons widelt man einen Draht, formt ihn zur Schleife und hängt ihn so an den Haken unten an der Schale. Bei der Abwägung des Ballons mit dem Wasser wird man jedoch, da hiezu eine größere Wage erforderlich ist, ihn lieber bei geschlossenem Hahn auf die Schale legen.

In dem Augenblick, wo man nach dem Auspumpen des Ballons den Hahn schließt, beobachte man das Barometer an der Pumpe und notire sich die Ablesung; gleichzeitig beobachte man ein freies Barometer, um die Dichtigkeit der freien Luft zu erfahren. Faßt der Ballon $v^{c.\,cm.}$ und wiegt die ausgepumpte Luft p gr, so würde, wenn dies alle Luft des Ballons gewesen wäre, $1^{c.\,cm.}$ $\frac{p}{v}$ gr, 1 Liter also $\frac{1000\,p}{v}$ gr, wiegen. Zeigte aber das innere Barometer nach dem Auspumpen noch β cm., während das Barometer im Freien auf b cm. steht, so beträgt die durch die Pumpe entfernte Luft nur $\frac{b-\beta}{b}$ der gesammten Luft des Ballons; also würde sämmtliche Luft $\frac{b}{b-\beta}$. p gr. gewogen haben, und $1^{c.\,cm.}$ würde dann $\frac{b\,p}{(b-\beta)\,v}$, 1 Liter $\frac{1000.\,p\,b}{(b-\beta)\,v}$ gr. wiegen. Soll das Resultat einigermaßen richtig werden, so muß der Ballon im Inneren gut ausgetrocknet werden. Das Austrocknen eines solchen Ballons ist mit einigen Schwierigkeiten verbunden, denn austrocknende Salze, wie Chlorcalcium kann man nicht hineinbringen, weil sie darin feuchtwerden und dann nicht wieder rein herauszubekommen sind. Man könnte den Hahn abschrauben, wo dann die Oeffnung größer wird, und diese Oeffnung mit einem Gefäß in Verbindung setzen, in welchem sich concentrirte Schwefelsäure befindet. Alle diese Umstände vermeidet man für alle späteren Versuche, wenn man von Vornherein das Volumen bestimmt und bleibend notirt, später aber nie wieder Wasser in den Ballon bringt.

b. Magdeburger Halbkugeln (Fig. 239). An der Seite, wo sich der Hahn befindet, wird der Griff abgeschraubt; die Schraube paßt auch auf die Pumpe. Man fettet den Rand der Halbkugeln, setzt sie zusammen, schraubt sie auf den Teller der Pumpe und evacuirt; wenn dies geschehen schließt man den Hahn, schraubt die Halbkugeln ab und setzt den Griff wieder auf. Sie werden sich schwer von zwei Personen auseinander reißen lassen. Will man die dazu nöthige Kraft berechnen,

so darf man als Druckfläche nur den ebenen Kreis des Durchschnitts in Rechnung nehmen, der Druck auf jedes q.cm kann zu 1 Kgr. gerechnet werden. Hängt man die Kugel an einen Griff frei auf und an den anderen Griff eine Schale mit Gewichten, so kann man die nöthige Kraft experimentel bestimmen. Durch die Adhäsion wird der Zusammenhang etwas vergrößert, dagegen die im Inneren zurückgebliebene Luft derselben um etwas vermindert wird.

c. Das Sprengen der Blase (Fig. 240). Man nehme hiezu einen 4 cm. hohen, 6 cm. weiten Messingcylinder, dessen Rand sowohl unten wie oben mit einem Wulst versehen ist, unten wegen des besseren Schlusses am Teller, oben, um die Blase unterhalb des Wulstes festbinden zu können; der untere muß eben abgeschliffen sein. Ein Stück Thierblase wird naß über das eine Ende gebreitet, straff angezogen

Fig. 240.

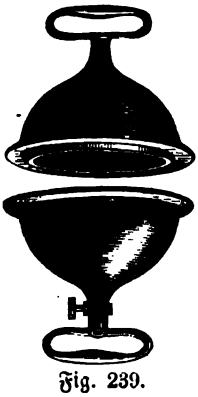


Fig. 239.

Fig. 241.

und unter dem Wulst festgebunden; nun läßt man die Blase ganz trocken werden, ehe man den Versuch anstellt; man setzt dann den Cylinder, am unteren Rand etwas gefettet, auf den Teller, schließt den Hahn des Barometers und pumpt den Cylinder aus, so wird die Blase erst sich einbiegen, dann auch wohl zerplatzen. Will man das Letztere sicher erzielen, so bediene man sich der Blase eines kleineren Thiers.

d. Das Glassprengen. Man gebraucht eben solche Cylinder (Fig. 241), wie zur Blase, nur weiter; er muß ebenfalls an beiden Enden mit Wülsten versehen und so hoch sein, daß man die Schraube im Teller stecken lassen kann. Beide Wülste müssen hier eben geschliffen werden. Zum Zersprengen bedient man sich des gewöhnlichen Fensterglases; man bekommt leicht Bruchstücke von Fensterscheiben, die man mit dem Diamant einigermaßen zuschneidet, daß sie zum Versuch verwendbar werden; sie müssen etwas größer als der Durchschnitt des Cylinders sein, brauchen aber nicht rund geschnitten zu werden. Das Fenster-

glas ist meist uneben, man wird daher die Platte da, wo sie aufliegen soll, stark fetten müssen, so daß ringsum ein dichter Fettrand entsteht, den man am besten mit dem Finger glatt andrückt. Ein breiter Rand am Metallcylinder ist hier unentbehrlich, weil sonst die unebenen Scheiben nicht luftdicht schließen können. Sind die Vorbereitungen richtig getroffen, so schließe man den Barometerhahn sofort; die Platte wird dann beim ersten oder zweiten Kolbenzug zerspringen. Geschieht es nicht, so schließt die Scheibe nicht an; man muß sie dann mit den ausgebreiteten Fingern gegen den Rand des Cylinders drücken; sofort wird sie beim Weiterpumpen mit einem Knall zerspringen. Die Bruchstücke fallen immer in den Cylinder hinein; man braucht nicht zu fürchten, daß sie die Hand darüber, oder gar die Umstehenden verletzen; es ist also unnöthig, die Scheibe zuzudecken, wie Manche rathen.

e. Der Quecksilberregen. Bei diesem Versuche wird häufig der Pumpe Schaden zugefügt, weil die Einrichtung, welche die Mechaniker dem betreffenden Apparate geben, es dem geschicktesten Experimentator unmöglich machen, das Eindringen von Quecksilber in den Pumpencanal zu verhindern. Ich habe den Apparat zum Quecksilberregen in folgender Weise construirt (Fig. 242). Der Glascylinder A erhält unten eine messingene Fassung mit Boden, welcher letztere so hoch über dem unteren Rand steht, daß die Schraube des Pumpentellers noch Platz darunter findet; in der Mitte ist der Boden 5 bis 6 mm. weit durchbohrt; in die Bohrung wird ein passendes Messingröhrchen gelöthet oder geschraubt, welches nach Oben eng (bis auf 1 mm. Weite) zuläuft und rechtwinklig, also zur horizontalen Lage umgebogen ist (an das verticale wird das horizontale Stück angelöthet). Die messingene Fassung erhält am unteren Rand einen Wulst, damit sie sich mit einer breiten und eben geschliffenen Fläche an den Teller anlegt. In das obere Ende des Glascylinders wird ein Gefäß aus hartem Holze luftdicht eingesetzt. Den luftdichten Schluß des Holzes an das Glas wird man durch Fett erzwingen müssen; einkitten darf man das Holz nicht, weil es nach dem Versuche herausgenommen werden muß, um das durchgefallene Quecksilber herauszunehmen. Durch das Glas hindurch sieht man bei bc den unteren Rand des Holzgefäßes, während die innere Bodenfläche etwa in der Höhe des Glasrandes liegt. Alle Messingtheile müssen, wegen der Berührung mit Quecksilber, auch inwendig gut gefirnißt werden. Wenn nun das Quecksilber beim Auspumpen der Luft durch den Boden des Holzgefäßes durchfällt, kann es in keiner Weise ins Innere der Pumpe gelangen.

Fig. 242.

f. Ein Glasfläschchen a (Fig. 243) wird so weit mit Wasser gefüllt, daß nur wenig Luft darin zurückbleibt, dann umgestülpt in ein Glas b mit Wasser gestellt und unter die Glocke gebracht. Beim Auspumpen dehnt sich die zurückgebliebene Luft aus und treibt das Wasser hinunter.

g. Man befestige und verkitte ein Gefäßbarometer ab (Fig. 244) in den Hals einer 8 cm. weiten Flasche F, deren Boden abgesprengt worden; ist der Rand der Flasche gut eben geschliffen, so dient diese als Glocke; da hier keine starke Verdünnung nöthig ist, mag es nicht schaden, daß der Rand nur schmal ist, was damit gezeigt werden soll, wird doch leicht sichtbar. Bei c erhält das Rohr noch Haltung durch ein Kreuz aus Blech. Man stelle die Glocke sammt dem eingekitteten Barometer auf den Luftpumpenteller und verdünne die Luft sehr langsam und vorsichtig, so fällt das Queckſilber im längeren Schenkel.

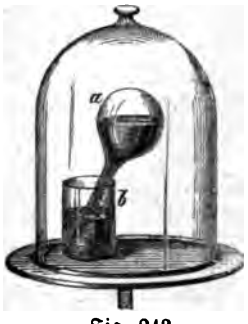


Fig. 243.

h. Die Fallröhre (Fig. 76) ist schon oben (S. 80) bei der Schwere erwähnt.

i. Um zu zeigen daß Holz, abgesehen von den Poren, specifisch schwerer ist als Wasser, schneide man ein Stück irgend einer leichten Holzart, z. B. Tannen, so, daß es sich gerade in das Glas, dessen man sich bedienen will, einklemmen läßt, fülle Wasser auf, bringe das Glas unter die Glocke und pumpe aus. Der Versuch zeigt dann zuerst die Absorption der Luft durch das Holz, und nachträglich, daß das Holz im Wasser unterſinkt.

Fig. 244.

k. Um Wasser im luftverdünnten Raum ins Kochen zu bringen, erwärme man es vorher auf etwa 30° und wende dann eine flache Schale zum Versuche an.

l. Ein hohler, ganz geschlossener Gummiball dehnt sich in verdünnter Luft aus.

m. Wenn man den Heronsball unter der Glocke springen lassen will, so setze man einen Holzring auf den Teller, der wenigstens so hoch ist als die Tellerschraube, stelle darauf eine Porzellanschale, in diese den Heronsball, über das Ganze die Glocke. Um alles Vorbeispritzen von Wasser zu vermeiden, könnte man auch den Heronsball in ein Gefäß von Glas setzen, dessen Wände fast an den Scheitel der Glocke reichten; wenn man denn das Auspumpen so mäßigt, daß der Strahl nicht oben gegen die Glocke springt, so bleibt der Teller trocken. Daß bei allen Versuchen, wobei ein Gefäß auf den Teller gesetzt wird, so daß es die Oeffnung oder bei Anwendung eines Holzringes die Schraube bedeckt, diese Gefäße nicht luftdicht anschließen dürfen, ist selbstverständlich; durch Unterlage eines Blättchens Papier an einer

Stelle, oder Einschneiden eines Kerbs in den Holzring wird dem gründlich vorgebeugt.

n. Um das Selbstfüllen und Laufen des Hebers im luftverdünnten Raum zu zeigen wird der kürzere Schenkel a (Fig. 245) luftdicht in die Oeffnung eines Glases, welches Wasser enthält, befestigt, der längere b in ein daneben stehendes leeres Glas geleitet; das erste Glas muß etwas höher stehen als das andere; man stellt daher einen Untersatz von Holz unter, deren man mehrere von verschiedenen Höhen und Weiten hat. Setzt man beide so zusammengestellten Gefäße unter die Glocke der Luftpumpe und pumpt aus, so fließt das Wasser durch den Heber ab in das leere Glas. Läßt man wieder Luft zu, so wird es wieder in die Flasche zurückgetrieben. Um dies zu ermöglichen muß jedoch der lange Schenkel b bis auf den Boden des Glases reichen; dies ist denn auch der Grund, warum man die Flasche höher stellt als das Glas.

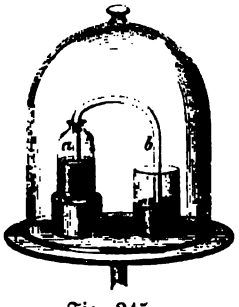


Fig. 245.

o. Um den Wasserstrahl im luftleeren Raum springen zu lassen dient eine 70—80 cm. lange, etwa 2—3 cm. weite Glasröhre, die am einen Ende entweder im Glase an sich oder durch eine messingene Fassung verschlossen ist, am anderen eine Fassung mit Hahn erhält, der sich auf die Luftpumpe aufschrauben läßt (Fig. 246); mit dem Hahnstück ist ein enges, nach Innen sich noch verjüngendes Röhrchen verbunden, das 3—4 cm. ins Innere der Röhre hineinreicht; der Hahn kann von der Fassung abgeschraubt werden, um nach dem Versuche das Wasser aus der Röhre zu gießen. Die Röhre wird leer gepumpt und, nachdem der Hahn geschlossen, von der Pumpe abgenommen. Man taucht sie dann mit der Oeffnung vertical unter Wasser und öffnet den Hahn; das Wasser springt dann in einem hohen Strahl hinein.

Fig. 246.

p. Die Fortpflanzung des Schalles in der Luft und die fehlende Fortpflanzung im leeren Raume zeigt man jetzt durch eine in dem zum Wägen der Luft benutzten Ballon angebrachte kleine Klingel (Fig. 247), die an ungedrehten Fäden von der Mündung aus in die Mitte des inneren Raumes gehängt ist. Man pumpt den Ballon aus, schließt den Hahn und nimmt ihn von der Pumpe ab. Schüttelt man den Ballon, so hört man doch Nichts, während die Klingel bei solchem Schütteln hörbar wird, wenn Luft in dem Ballon ist. Verdichtet man die Luft im Ballon und verfährt eben so, so wird der Schall der Glocke stärker gehört als bei gewöhnlicher Luft.

q. Der Versuch über das Abbrennen von Schießpulver im luftleeren Raume hat seine eigenthümlichen Schwierigkeiten. Durch ein Flintenschloß gelingt es meist nicht, das Pulver zu entzünden, und doch müßte es, wenn nur Feuer darauf fällt, brennen, da es den Sauerstoff selbst liefert, indem die Salpetersäure im Salpeter sich zersetzt, wie ja auch in der Flinte das Pulver blos auf Kosten dieses Sauerstoffs verbrennt. Wenn in den Lehrbüchern dieser Versuch zum Beweise angeführt wird, daß ein Körper ohne atmosphärische Luft, resp. Sauerstoff, nicht brennen könne, so ist dies ein Fehler. Wenn Phosphor, Schwefel und andere brennbare Körper unter solchen Umständen nicht brennen, so ist dies eine Folge des Fehlens alles Sauerstoffs; dem Pulver aber fehlt der Sauerstoff auch im abgeschlossenen Raume nicht. Man müßte sich eine kleine Glocke machen lassen, in die ein durchgehender dünner Eisendraht eingeschmolzen ist, den man durch einen galvanischen Strom zum Glühen bringt; bringt man dann eine kleine Menge Pulver so

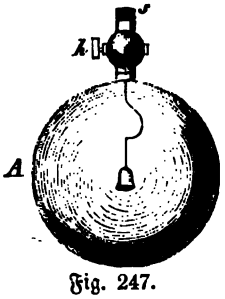


Fig. 247.

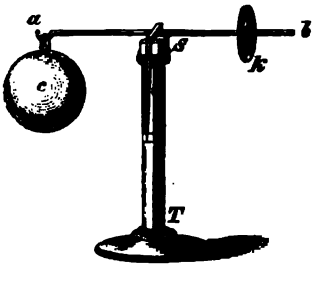


Fig. 248.

an, daß der Draht durch dasselbe hindurchgeht, pumpt die Glocke aus und schließt die galvanische Kette, so wird das Pulver unfehlbar verbrennen sobald der Draht glüht.

r. Setzt man ein Licht unter die Glocke und pumpt aus, so verlöscht dieses nach wenigen Kolbenzügen.

5. Gleichgewicht fester Körper in ausdehnsamen Flüssigkeiten.

Guerickes Dasymeter (Fig. 248) dient dazu, die Gültigkeit des archimedischen Gesetzes für die Luft nachzuweisen. Ein kleiner Wagebalken ab mit prismatischer Achse ruht auf dem Ständer ST; am einen Ende a ist eine hohle Glaskugel c angehängt, die am anderen durch einen Messingkörper k von viel kleinerem Volumen im Gleichgewicht gehalten wird; an den Balken ist bei b eine Schraube geschnitten, so daß man den Körper k mehr oder weniger weit auf den Balken schrauben kann. Hierdurch wird es möglich die Wage vor jedem Versuch so zu reguliren, daß der Balken horizontal steht: um diese Lage

desto deutlicher zu erkennen, ist in der Mitte des Balkens ein Zeiger e befestigt, dessen Spitze unten über einen Gradbogen läuft oder doch beim richtigen Einstehen auf einen Strich als Index zeigt. Es ist zweckmäßig, diesen Zeiger nach Unten, nicht nach Oben zu richten, weil dann die Luftpumpenglocke nicht so hoch zu sein braucht.

Hat man den Balken zum Einstehen gebracht, so setze man die Wage unter die Glocke auf den Teller und pumpe diese aus; die Glaskugel wird sinken; sie hat im luftleeren Raum mehr an Gewicht zugenommen als der kleine Messingkörper k. Wie viel die Gewichtszunahme ausmacht, läßt sich freilich dadurch nicht bestimmen.

Man wird die Luftpumpenglocke zu diesem Versuch nur gerade so groß nehmen, daß der Wagebalken a b sich bequem darin bewegen kann, weil bei einer größeren Glocke das Auspumpen mehr Arbeit macht. Dann aber muß das Stativ der Wage in die Mitte des Tellers, auf die Oeffnung in diesem, gesetzt werden; damit beim Auspumpen die Luft doch frei durch die Oeffnung strömen kann, wird man in den Rand des Fußes einen Kerb einfeilen müssen.

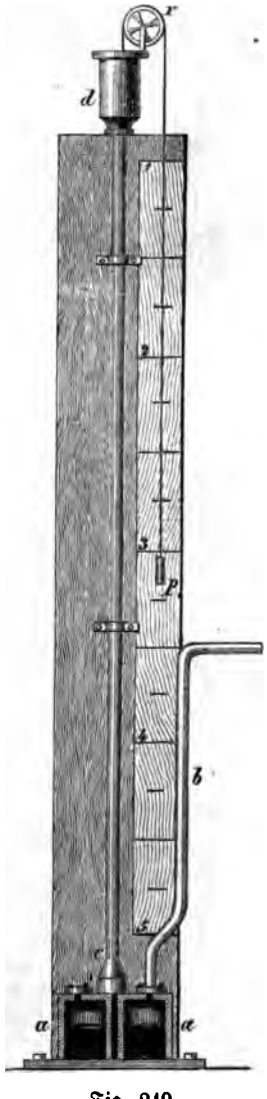


Fig. 249.

6. Manometer.

Manometer sind Apparate zur Messung des Drucks von Gasen und Dämpfen. Der Druck wird gemessen: a) durch die Länge einer Quecksilbersäule unter Mitwirkung des Luftdrucks; b) durch das Volumen einer abgeschlossenen Luftmenge; c) durch die Formänderung eines elastischen Metalls.

a) Quecksilbermanometer. Ein eisernes Gefäß aa (Fig. 249) ist bis zu einiger Höhe mit Quecksilber angefüllt; durch die Decke oder Seitenwand führt ein Rohr b, das vom Behälter des Gases oder Dampfes, dessen Druck gemessen werden soll, herkommt und die drückende ausdehnsame Flüssigkeit in den Raum über dem Quecksilber einführt. Ein anderes, oben offenes Rohr cd, das durch die Decke geführt ist,

erhebt sich fast vom Boden des Gefäßes mehrere Meter hoch; seine Höhe richtet sich nach der Größe des Drucks, für welchen es bestimmt ist. Des großen Druckes wegen, den das Rohr auszuhalten hat, wird es von Eisen gemacht; man kann also den Stand des Queckſilbers von Außen nicht ſehen. Deswegen wird an einer über die Rolle r gehenden Schnur ein eiſerner Schwimmer auf das Queckſilber herabgelaſſen, der durch ein etwas kleineres Gewicht p am anderen Ende der Schnur im Gleichgewicht gehalten wird. An dem Brette, an welchem die Röhre cd befeſtigt iſt, wird eine Scala angebracht, welche in Atmoſphären, oder auch in Kilogrammen auf das Quadratcentimeter den Druck angiebt. Beide Zahlen ſtimmen überein, da 1 Atmoſphäre gleich 1 Kgr. auf das q.cm beträgt. Es iſt deutlich, daß die Länge der Queckſilberſäule nur den Ueberdruck über eine Atmoſphäre, welche die Luft ausübt, angiebt. Wenn die Scala einmal aufgetragen iſt, ſo iſt die Länge des Fadens dadurch beſtimmt und muß ſomit danach eingerichtet werden; das Gewicht p bildet den Zeiger für den abzuleſenden Scalentheil. Da p um ſo tiefer ſteht, je höher die Queckſilberſäule im Rohr cd geſtiegen, d. h. je größer der Druck auf das Queckſilber iſt, ſo fängt die Scala von Oben an. Es iſt zu bemerken, daß das Queckſilbergefäß im Durchſchnitt, das Uebrige dagegen nach der äußeren Anſicht gezeichnet iſt.

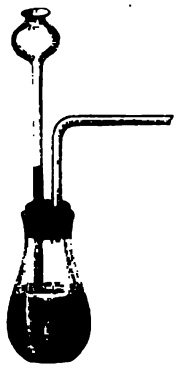


Fig. 250.

Fig. 251.

Das eben beſchriebene Manometer iſt ein Gefäßmanometer; man hat aber dieſe Inſtrumente auch in Heberform, wo denn, gerade wie beim Heberbarometer, das Queckſilber im kürzeren Schenkel eine gleiche Säule im anderen im Gleichgewicht hält. Im Uebrigen iſt die Einrichtung dieſelbe.

Bei geringem Druck wendet man als Manometerflüſſigkeit Waſſer an, woraus dann die verſchiedenen Sicherheitsröhren hervorgehen, die man bei Gasentwicklungsflaſchen, in den Gaſometern und den Leitungsröhren der Gasbeleuchtungsanſtalten gewöhnlich gebraucht (Fig. 250 und 251), welche für ſich deutlich ſind.

b. **Luftmanometer.** Die oben beschriebenen Manometer sind nur brauchbar, wenn sie an demselben Orte bleiben können, also z. B. um die Spannung des Dampfes an einem stationären Dampfkessel zu messen, zum Transporte sind sie wegen der langen Röhre nicht zu gebrauchen. Für solche Fälle sowohl, wie denn auch bei manchen stehenden Maschinen, wendet man Manometer an, bei denen der Druck nicht durch die Höhe einer Quecksilbersäule, sondern durch das Volumen einer abgeschlossenen Luftmenge, auf welche der Druck des Dampfes oder Gases wirkt, gemessen wird. Sie beruhen daher auf dem Mariotte'schen Gesetze. (Fig. 252) stellt ein solches Manometer vor. Eine heberförmig gekrümmte Glasröhre abcd, am einen Ende a verschlossen, am anderen offen, enthält in dem verschlossenen Schenkel ab, vor der Einwirkung des Gas- oder Dampfdrucks, Luft von der Dichtigkeit der freien Atmosphäre, welche durch Quecksilber abgesperrt ist; das Quecksilber muß dann also in beiden Schenkeln gleich hoch stehen. Steht aber die Oeffnung der Röhre mit einem Gas- oder Dampfbehälter in Verbindung, worin sich solche Flüssigkeit von größerer Dichtigkeit als die der äußeren, oder als die der in der Röhre abgesperrten Luft befindet, so wird diese nach dem Mariotte'schen Gesetz zusammengedrückt, bei zwei Atmosphären Druck auf die Hälfte, bei drei auf ein Drittel u. s. w., und nach dem Volumen, das diese abgeschlossene Luftmenge dann einnimmt, kann der Druck des darauf wirkenden Gases oder Dampfes beurtheilt werden. Eine an dem Träger der Röhre angebrachte Scala ermöglicht das unmittelbare Ablesen des vorhandenen Druckes.

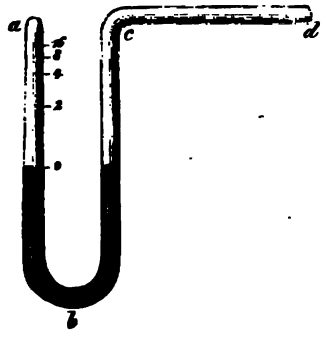


Fig. 252.

In weiter ausgeführter Gestalt für den Fabrikbetrieb stellt (Fig. 253) ein solches Manometer dar. AB ist ein Metallgefäß, in dessen innerem Raum sich das eiserne Gefäß CD befindet, das eine Quantität Quecksilber enthält, in welches die Glasröhre EF taucht; diese ist luftdicht durch die Decke des äußeren Gefäßes durchgeführt. Der innere Raum über dem Quecksilber ist gegen die Luft völlig abgeschlossen, nur communicirt er durch die Röhre G mit dem Behälter des Gases, dessen Druck gemessen werden soll. Neben der Röhre wird, wie beim vorigen, eine Theilung nach Atmosphären, oder Kgr. auf ein q.cm angebracht. Um das Instrument zu schützen, wird das Rohr mit einer Metallhülse umgeben, in die einander gegenüber zwei Schlitze eingeschnitten sind, wie beim Fortin'schen Barometer, damit jeder Zeit der Stand des Quecksilbers, somit der Grad der Zusammendrückung der in der Röhre eingeschlossenen Luft, beobachtet werden kann.

c. **Metallmanometer.** Wenn man ein Rohr mit elliptischem

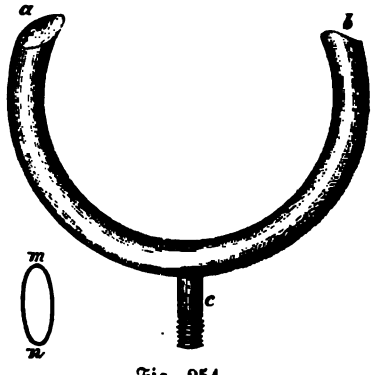


Fig. 254.

Fig. 253.

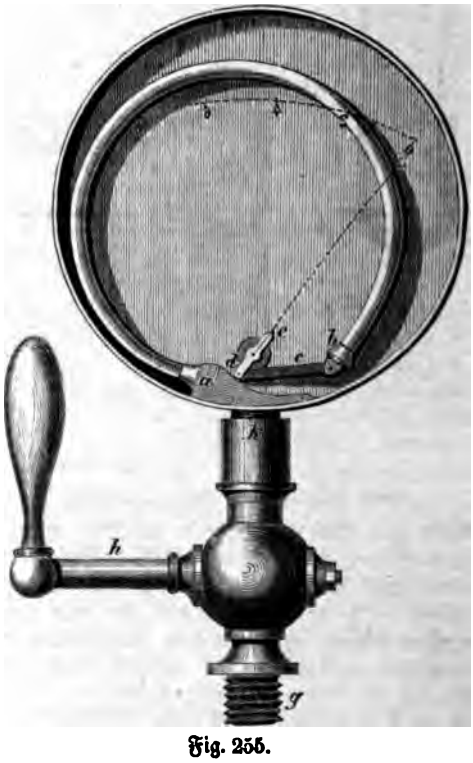


Fig. 255.

Durchschnitt und dünnen Metallwandungen zu einem Kreisbogen biegt und die Luft darin abwechselnd verdichtet und verdünnt, so biegt es sich, wie das Bourdon'sche Aneroidbarometer, im ersten Falle aus einander, im anderen zusammen. (Fig. 254) stellt ein solches Rohr vor, die Nebenfigur mn die Form des Durchschnitts. Das Rohr ist bei a und b geschlossen, hat aber in der Mitte das Ansatzrohr c, das am Ende mit einer Schraube versehen ist, mit welcher es sich auf die Luftpumpe aufschrauben läßt. Mißt man den Abstand der Enden a und b und verdichtet die Luft im Inneren, so wird dieser Abstand größer; verdünnt man dagegen die Luft, so wird derselbe kleiner. Beim Metallmanometer wird nun eine solche Röhre in ein Gehäuse geschlossen (Fig. 255), von dem in der Figur die Rückwand entfernt gedacht ist. Das eine Ende a der Röhre ist hier unveränderlich an die Kapsel befestigt, das andere b wirkt auf den Stab c, der selbst den kürzeren Arm des Hebels de bewegt. Auf der Drehachse des Hebels de sitzt auf der Vorderseite des Gehäuses ein Zeiger (hier durch eine punktirte Linie angedeutet), der mit dem Hebel de sich in demselben Sinne dreht. Am Umfang der Vorderplatte sind die Drucke in Atmosphären oder in Kgr. auf 1 q.cm angegeben. Das verdichtete Gas wird dem Rohr ab durch die Röhre gk zugeführt, welche mittelst der Schraube g auf einen Dampfkessel aufgeschraubt und durch den Hahn h geöffnet oder geschlossen werden kann. Es leuchtet ein, daß, da die Figur die Rückseite des Instruments darstellt, der Gang des Zeigers auf der Vorderseite entgegengesetzt gerichtet ist, nämlich bei steigendem Druck von der Linken zur Rechten.

Wie die Metallbarometer, so sind auch die Metallmanometer bequemer als die Quecksilbermanometer; aber da die Elasticität der Metalle sich nicht immer gleich bleibt, so müssen diese Instrumente öfters nach einem guten Quecksilbermanometer regulirt werden; daß auch die Scala derselben nach solchem aufgetragen werden muß, ist selbstverständlich. Wer aber ein solches Manometer hat, pflegt es Jahre lang zu gebrauchen, ohne je an eine neue Justirung zu denken, wo dann die darauf begründeten Messungen ganz werthlos ausfallen müssen.

7. Aëronautik.

Es ist auch in der Schule vollkommen gerechtfertigt, daß man das Aufsteigen eines Körpers in der Luft durch einen Versuch zeige, d. h. einen kleinen Ballon steigen lasse. Ballons aus Goldschlägerhaut, auch solche aus Collodium bekommt man überall in den Magazinen zu kaufen. Ist der Ballon klein, so füllt man ihn mit Wasserstoffgas, größere steigen schon mit dem gewöhnlichen Leuchtgas. Das Füllen mit Leuchtgas geschieht einfach dadurch, daß man von einem der an die Leitung angesetzten Röhrchen durch einen Gummischlauch, in dessen Ende ein Röhrchen von Glas oder Metall eingesteckt und nöthigen Falls festgebunden wird, das Gas nach dem Ballon leitet; das Röhrchen wird

nur kurz in die Oeffnung gesteckt und der Rand ringsum festgebunden; wenn der Ballon voll ist bindet man ihn hinter dem Ende des Röhrchens fest zu, und nimmt ihn von diesem ab, so wird er frei gelassen, an die Decke steigen. Wenn man das spec. Gewicht des zu verwendenden Leuchtgases kennt, so kann man leicht finden, von welcher Größe an ein Ballon mit Leuchtgas steigt. Es muß bekanntlich der Auftrieb größer als das Gewicht des Ballons sein, also

$$(s - s').\ V > Q.$$

Kann man nun annehmen, daß das spec. Gewicht des gewöhnlichen Leuchtgases gegen Luft $= {}^1/_2$ sei, so würde $V > 2\,Q$ die Bedingung ausdrücken, unter welcher ein Ballon mit Leuchtgas steigt, wenn nur V in Cubikcentimetern, Q in Grammen ausgedrückt ist, oder V in Litern, Q in Kilogrammen.

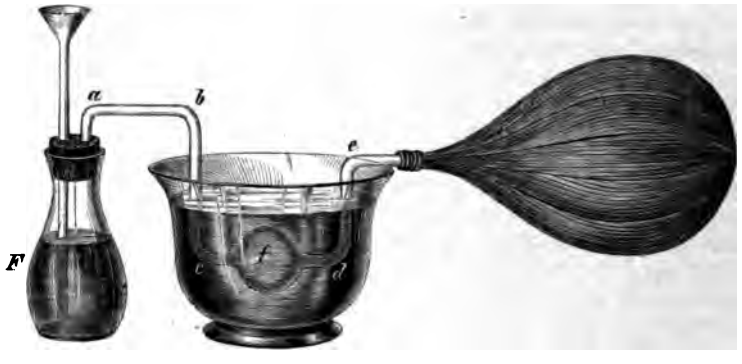


Fig. 256.

Die Füllung mit Wasserstoff geschieht am besten mittelst eines Gasometers; aus der Gasentwicklungsflasche leitet man das Gas in das Gasometer, aus diesem durch Wasserdruck mittelst des Hahns in den Ballon. Das Gas aus der Entwicklungsflasche sofort in den Ballon zu leiten ist nicht rathsam, da es viel Wasserdämpfe mit sich führt, denen oft auch Schwefelsäure beigemengt ist; beide machen den Ballon schwer, letztere zerstört ihn. Muß man sich durchaus ohne Gasometer behelfen, so bediene man sich einer gekröpften Röhre abcde (Fig. 256); man kann dann den gekröpften Theil der Röhre zu einer Kugel erweitern und auch wohl noch in ein Gefäß mit kaltem Wasser tauchen, damit die aus der Entwicklungsflasche F herüberströmenden Dämpfe sich verdichten und etwaige in die Röhre gelangte Tröpfchen Schwefelsäure zurückgehalten werden. Man leitet das Wasserstoffgas auch wohl durch ein längeres Rohr, in welches man Stücke von Chlorcalcium gefüllt hat, welches alle Feuchtigkeit anzieht und das Gas trocken in den Ballon gelangen läßt.

Solche Ballons aus Goldschlägerhaut werden aber im Laufe der

Zeit von Motten und anderem Ungeziefer zerfressen; man muß sie daher so lange sie nicht gebraucht werden, in einem gut verschlossenen Glase aufbewahren.

8. Eudiometrie.

Um die Bestandtheile der Luft ihrem Mengenverhältniß nach zu untersuchen dient Volta's Eudiometer. Dasselbe bestimmt das Verhältniß des Sauerstoffs zum Stickstoff. Es besteht aus der Maßröhre ab (Fig. 257), einem Rohr von starkem Glas, das am einen Ende verschlossen und seiner Länge nach in Theile von gleichem Rauminhalt getheilt ist, welche durch Diamant auf seiner Oberfläche eingeritzt sind. Gegen das verschlossene Ende a hin ist das Rohr an zwei diametral gegenüberstehenden Stellen durchbohrt, und in die Bohrung sind zwei Platindrähte mit Siegellack eingekittet, deren Spitzen inwendig nur sehr wenig von einander abstehen; an den äußeren Enden sind die Drähte zu Haken oder Ringen umgebogen. Am offenen Ende erhält das Rohr eine Bohrung quer hindurch, die jedoch etwas konisch sein muß, um einen Glasstöpsel aufzunehmen, der wie ein Hahn geformt und mit Griff versehen ist, nur daß er selbst weiter keine Bohrung hat. Zu diesem Apparate gehört nun noch ein weiter Glascylinder CD mit Fuß, der sich oben zu einem Gefäß erweitert, und etwa die Länge der Maßröhre hat. Der Cylinder wird mit Quecksilber fast gefüllt. Außerdem bedarf man noch eines Halters AB, der die Maßröhre schwebend tragen kann. Dazu bediene ich mich entweder der Halterstange oder eines Gasständers, worauf eine Korkzange aufgeschoben und festgeschraubt wird. Wir nehmen an, die Maßröhre sei in 100 Theile gleichen Inhalts getheilt; man fülle in die Röhre soviel Quecksilber ein, daß noch eine Menge Luft darin bleibt, stecke den Hahn ein, kehre die Röhre um, stecke sie mit dem unteren Ende in das Quecksilber, welches man in das Gefäß CD gefüllt hat, ziehe den Hahn aus und drücke die Maßröhre so tief ein, daß das Niveau des inneren Quecksilbers mit dem des äußeren in gleiche Höhe kommt; nun lese man an der Scala das Volumen der in der Maßröhre enthaltenen Luft ab; es seien 55 Volumen. Man richte dann eine Gasentwicklungsflasche ein, um Wasserstoffgas zu erzeugen, lasse aus derselben etwas, wenigstens halb so viel als Luft in der Röhre ist, zu der Luft in der Maßröhre hinzuströmen, drücke dann die

Fig. 257.

Röhre wieder so tief in das Queckſilber, daß beide Niveaux wieder in dieſelbe Horizontale kommen, ſchließe den Hahn und leſe ab, wie viel Volumen Luft und Gas zuſammen einnehmen; geſetzt, dies ſeien 87 Vol. Man laſſe dann aus einer Leydener Flaſche einen elektriſchen Schlag durch die beiden Platindrähte ſchlagen. Das Verfahren giebt die Figur deutlich an, wenn man bemerkt, daß cde eine Metallkette, E die Leydener Flaſche iſt. Das Gasgemenge wird ſich entzünden. Man nehme nun den Hahn heraus, während das Ende der Röhre immer unter dem Queckſilber bleibt; das Queckſilber wird in der Röhre ſteigen; man drücke die Röhre wieder herunter bis beide Niveaux wieder gleich hoch ſtehen, und leſe den Stand dieſer Niveaux ab. Bei den vorhin angenommenen Mengen Luft und Gas wird man finden, daß das zurückgebliebene Gas jetzt 54 Vol. einnimmt. Da früher 87 Vol. vorhanden waren, ſo ſind 33 Vol. Gas verſchwunden, d. h. der in der Luft vorhandene Sauerſtoff und eine gewiſſe Menge Waſſerſtoff haben ſich zu 33 Vol. Waſſerdampf verbunden. Da nun Waſſer aus 1 Vol. Sauerſtoff und 2 Vol. Waſſerſtoff beſteht, ſo iſt $^1/_3$ der 33 verſchwundenen Volumen Sauerſtoffgas; in den 55 Vol. Luft ſind alſo 11 Vol. Sauerſtoff, folglich 44 Vol. Stickſtoff, oder auf 1 Vol. Sauerſtoff kommen 4 Vol. Stickſtoff. Genauer findet man das Verhältniß der beiden Gaſe 21 : 79.

Es hält manchmal ſchwer, aus der Gasentbindungsflaſche das Waſſerſtoffgas in die Maßröhre hineinzubringen, weil das ſchwere Queckſilber einen großen Gegendruck ausübt; es empfiehlt ſich dann, die Maßröhre zu ſchließen und in einem weiten Gefäß, wo man ſie beliebig ſenken, ſchräg halten kann, mit dem Ende unter Queckſilber zu bringen, in dieſer Lage das Gas einzuführen, ſie dann wieder zu ſchließen und in das Eudiometergefäß A überzutragen.

9. Gaſometer und Gebläſe.

Gaſometer und Gebläſe dienen dazu, einen dauernder Luft- oder Gasſtrom zu erzeugen. Bei den Gaſometern iſt ein Gas in einem Raume verſchloſſen; durch Anwendung eines Druckes, der den der atmoſphäriſchen Luft überſteigt, wird es genöthigt, durch eine zu dieſem Zwecke angebrachte Oeffnung auszuſtrömen. Gebläſe dienen dazu, einen Luftſtrom von größerer Kraft zu erzeugen, gewöhnlich zu dem Zwecke, ein Feuer anzufachen und in fortdauerndem Brennen zu erhalten.

A. Gaſometer.

a. Das Gaſometer der chemiſchen Laboratorien (Fig. 258.) Es beſteht aus zwei cylindriſchen Gefäßen von Kupferblech A und B; ſie haben gleiche Weite, B iſt aber nur $^1/_3$ ſo hoch als A. B iſt ſo auf A geſetzt, daß es auf drei feſten Stützen ruht und außerdem

durch die beiden Röhren a, b, welche mit Hähnen versehen sind, mit A in Verbindung steht. Die Röhre a geht vom Boden des oberen Gefäßes bis beinahe zum Boden des unteren; b geht nur vom Boden des oberen zur Decke des unteren Gefäßes. Das Gefäß A hat noch dicht am Boden ein mit der Oeffnung nach Oben gerichtetes Ausflußrohr e, welches durch eine aufgesetzte Schraube verschlossen werden kann. Bei c ist ein Rohr, das mit einem Hahn versehen ist und eine enge Oeffnung hat; die Spitze ist so eingerichtet, daß man nach Bedürfniß noch eine konische Spitze mit noch engerer Mündung aufstecken kann, die dann gewöhnlich von Platin ist; d ist ein Wasserstandsrohr, d. h. ein Glasrohr, welches den obersten und untersten Theil des Gefäßes A äußerlich mit einander verbindet, so daß man den Wasserstand im Innern des Gefäßes jederzeit sehen kann; es muß an beiden Enden wasser- und gasdicht in Fassungen eingesetzt sein. Gewöhnlich geschieht die Befestigung durch genau passende Korke. Da dieses Rohr immer an seiner Stelle bleibt, so kann man es, der besseren Dichtung wegen, einkitten, wobei der Kitt aus Schwerspath und Leinölfirniß gute Dienste leisten wird.

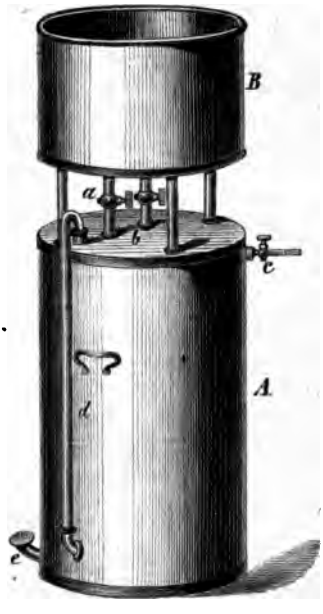


Fig. 258.

Soll der Apparat mit Gas gefüllt werden, so muß man ihn erst mit Wasser füllen. Man schließe die Oeffnung e durch die zugehörige Schraube, öffne die Hähne a, b und c und gieße Wasser in das obere Gefäß B, so fließt dieses durch die Röhren a und b ins untere Gefäß A, während die Luft durch c entweicht. Wenn das Wasser bis zum Rohr c gestiegen ist, so fließt es durch dieses aus; dann schließe man den Hahn c. Die Decke des Gefäßes A ist nach Oben gewölbt, die noch darin befindliche Luft wird daher genöthigt sein, sich unter der Mitte dieser Decke anzusammeln, weil dies die höchste Stelle ist, die sie einnehmen kann; sie strömt also nun durch das Rohr b nach Oben ab, während Wasser durch a zufließt und das Gefäß A ganz und gar füllt. Das Gefäß B fülle man schließlich noch mit Wasser und schließe die Hähne a und b.

Um das Gasometer nun mit Gas zu füllen, stelle man es in eine Wanne, oder auch auf ein über die Wanne gelegtes Brett, so daß das Rohr c über dieses seitwärts vorragt, öffne dieses Rohr und führe das

Glasrohr, das vom Gasentwicklungsapparat herkommt, in dasselbe ein, so daß seine Mündung sich unter Wasser befindet. Es ist zweckmäßig, das äußerste Ende dieses Rohrs etwas nach Oben umzubiegen, damit die Gasblasen besser emporsteigen können. Da keine Luft ins Innere des Gefäßes A kommen kann, wird nur gerade so viel Wasser durch die Oeffnung e ausfließen, als Gas sich darin ansammelt. An dem Rohr d wird man immer sehen können, wie viel Gas zur Zeit im Gasometer angesammelt ist. Wenn so viel Gas angesammelt ist, daß das Wasserniveau in der Röhre d nicht mehr zu sehen ist, nimmt man das Glasrohr aus der Oeffnung e heraus und setzt die Schlußschraube auf. Man kann nun das Gasometer aus der Wanne nehmen und hinbringen, wo man das Gas gebrauchen will, z. B. auf den Experimentirtisch setzen.

Das eingefüllte Gas kann nun auf zweierlei Art verbraucht werden: entweder füllt man Glocken, Cylinder oder andere Gefäße damit an, oder aber man läßt es blos ausströmen und stellt gewisse Versuche mit dem Gasstrom an. Soll eine Glocke oder anderes Gefäß mit dem Gas angefüllt werden, so muß man das Gefäß mit Wasser füllen und im Gefäße B über die Oeffnung des Rohrs b stülpen. Ist solche Glocke, Cylinder ꝛc. nicht so hoch als der Durchmesser von B, so geschieht diese Manipulation einfach im Wasser, welches in B eingefüllt ist; übertrifft aber die Höhe der Glocke den Durchmesser des Gefäßes B, so muß man über den Rand der gefüllten Glocke eine mattgeschliffene Glasplatte legen, dann die Glocke umkehren, unter das Wasser in B tauchen, die Glasplatte wieder wegnehmen und die Glocke über die Oeffnung von b stellen. Man öffne nun die Hähne a und b, so werden Gasblasen durch b aufsteigen, sich in der Glocke ansammeln, und durch a wird Wasser ins Gefäß A abfließen; durch den Druck des in B angesammelten Wassers nämlich wird das Gas genöthigt, aus A durch das Rohr b abzufließen. Wollte man Gas in eine Flasche oder anderes Gefäß mit enger Oeffnung füllen, so müßte man einen Trichter in die mit Wasser bereits gefüllte Flasche stecken und die Flasche mit dem Trichter über die Oeffnung von b umstülpen, dafür sorgend, daß auch im Trichter keine Luft zurückbleibt. Gerade so füllt man einen Glasballon mit Gas, nachdem man ihn zuvor ganz voll Wasser gemacht hat. Um das mit Gas gefüllte Gefäß wieder herauszunehmen, deckt man eine Glasplatte über die Oeffnung; Flaschen werden mit dem zugehörigen Stöpsel noch unter Wasser verschlossen; an Ballons, die Hähne haben, werden diese geschlossen.

Will man mit einem Gasstrom operiren, so öffnet man die Hähne a und c, wo dann durch c ein Gasstrom ausgetrieben wird. Soll der Gasstrom kräftiger werden, so steckt man noch einen Metalltrichter mit langem Rohr oben in die Oeffnung von b und füllt auch diesen mit Wasser; der Druck wird dann größer und das Gas strömt mit größerer Geschwindigkeit aus der Röhre c.

β. Gasometer der Gasbeleuchtungsanstalten (Fig. 259)

bestehen aus dem Gasbehälter B und dem Reservoir A. Der Gasbehälter ist ein aus zusammengenieteten Eisenplatten bestehendes cylindrisches Gefäß, das unten offen, oben geschlossen ist und in das mit Wasser gefüllte Reservoir taucht; letzteres ist gewöhnlich eine in die Erde gegrabene, ausgemauerte und cementirte Grube. An einem Gerüst CD sind zwei Rollen R,R angebracht, über welche eine Kette gelegt ist, an deren einem Ende der Gasbehälter aufgehängt, am anderen ein Gewicht

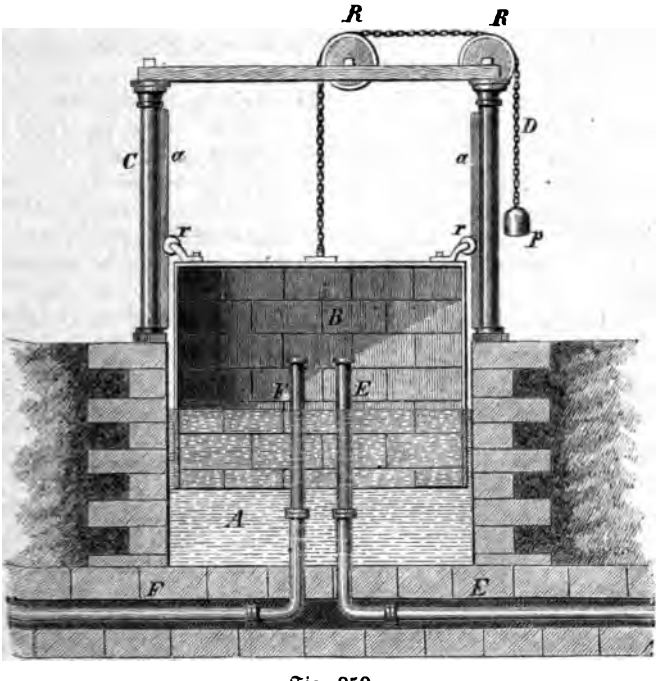


Fig. 259.

p befestigt ist, durch welches mehr oder weniger vom Gewichte des Gasbehälters aufgewogen wird. Aus dem Retorten-, resp. Gasreinigungshaus wird das Rohr EE unter der Erde nach dem Reservoir geführt und mündet über dem Wasser im Gasbehälter. Ein zweites Rohr FF führt aus dem Gasbehälter, ebenfalls unterirdisch, nach den Orten, wo das Gas gebraucht werden soll und vertheilt sich in viele kleinere Röhren, welche davon abgezweigt sind und nach den Brennern gehen. Der Gasbehälter wird zwar zum Theil vom Wasser getragen; je weiter er aber durch die Expansivkraft des Gases aus dem Wasser herausgehoben wird, desto schwerer wird er: das an der Kette hängende Gewicht soll den Druck des Behälters so reguliren, daß er etwa einem Wasserdruck

von 12 cm. gleichkommt. Die Rollen r, r dienen dazu, die auf- und absteigende Bewegung des Gasbehälters zu reguliren; sie sind am Rande hohl ausgedreht und legen sich mit der Hohlkehle gegen die verticalen Stäbe a, a.

γ. Gasometer der Fabriken künstlicher Mineralwasser bestehen ebenfalls aus einer Glocke A (Fig. 260) aus Eisenblech, welche in ein Reservoir B taucht, das aus demselben Material gefertigt ist. Auch hier hängt die Glocke an einer Kette, welche über zwei am Gerüste angebrachte Rollen r, r geht und am anderen Ende ein Gewicht p trägt. Dieselbe Röhre s ist zugleich Zuleitungs- und Ableitungsröhre, weil hier nicht zugleich Gas fabricirt und verbraucht wird; außerhalb theilt sich diese Röhre in zwei Theile, von denen jeder durch einen Hahn verschlossen wird, wenn er gerade nicht in Gebrauch ist.

Fig. 260.

Es ist zu empfehlen, in die physikalischen Cabinette ein Gasometer dieser letzteren Art einzuführen, da man aus den Gasleitungen das Leuchtgas meist nicht bei dem erforderlichen Druck bekommen kann. Man könnte dann aus der Gasleitung das Gasometer zu beliebiger Zeit füllen und das Gas nach Bedarf unter dem gewünschten Druck zu den Versuchen verwenden.

b. Gebläse.

α. Der einfache Blasebalg (Fig. 261). Zwei Holzplatten a b, c d sind durch ein Lederscharnier bei b verbunden; über dies ist der ganze Winkelraum, den sie mit einander bilden, wenn man die eine von der anderen abhebt, also im Charnier dreht, ganz mit Leder umzogen, das an die Bretter angenagelt ist und beim Zusammenbringen der beiden Platten sich in Falten legt. Der innere Raum mündet am Charnier in eine Röhre r, an die außerhalb eine eiserne Röhre r' angesetzt ist. Die untere Platte hat bei v eine Oeffnung, über der eine an einer Seite befestigte Lederklappe liegt, welche ein Ventil bildet. Hebt man die Platten von einander ab, so verdünnt sich die Luft im Inneren, weil dieser Raum erweitert wird, die äußere Luft drückt gegen die Klappe v, hebt sie, das Innere füllt sich mit Luft; drückt man nun die Platten zusammen, so schließt sich die Klappe und die Luft kann nur durch die Röhre r r' Abzug finden. Der Luftstrom ist aber ein

unterbrochener, weil der Blasebalg nicht wirken kann wenn die beiden Theile von einander abgehoben werden.

β. Der doppelte Blasebalg dagegen giebt einen continuirlichen Luftstrom. Derselbe hat zwei Luftbehälter A, B, (Fig.) 262 die durch eine Platte CD mit Ventil v von einander getrennt sind; auch die untere Platte des Behälters B hat ein Ventil w; beide Ventile öffnen sich nach Oben. Der Austritt der Luft geschieht gewöhnlich aus dem oberen Behälter A durch die Feuerröhre r. Die Einrichtung ist nun verschieden je nach dem Zwecke: die gewöhnlichen Bälge der Feuer-

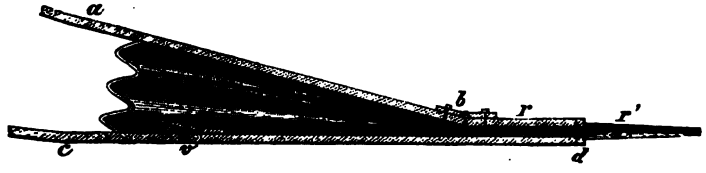


Fig. 261.

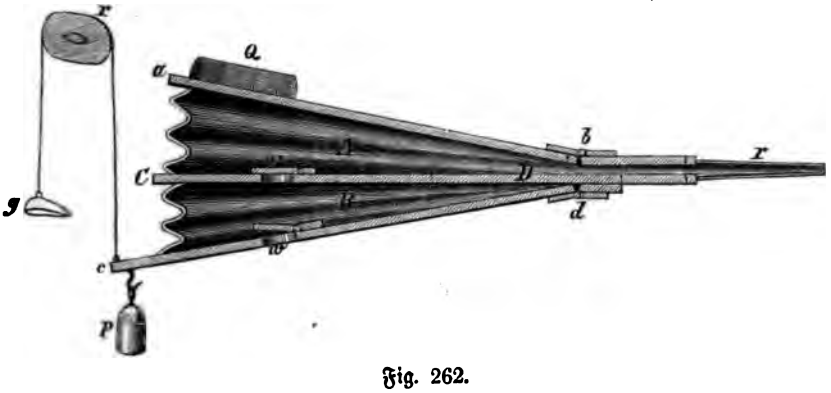


Fig. 262.

arbeiter haben die Einrichtung der (Fig. 262); das unterste Brett cd wird durch ein Gewicht P herabgezogen, vom Ende desselben geht ein Seil oder Kette über eine höher gelegene Rolle r, auf dem oberen ab liegt ein Gewicht Q. Will man den Blasebalg in Thätigkeit setzen, so zieht man beim Griffe g an diesem Seil. Die untere Kammer ist dann voll Luft, weil das Gewicht P sie immer geöffnet hält; beim Heraufziehen schließt sich das Ventil w und die Luft wird durch v hindurch in die obere Kammer gedrängt, wo sie durch das Rohr ausströmt, weil das Gewicht Q die Platte ab niederdrückt. Unterdessen zieht das angehängte Gewicht P das untere Brett wieder herunter, und noch ehe die obere Kammer von Luft entleert wird, erhält sie durch

einen neuen Zug wieder Luft aus der unteren, so daß der Luftstrom nie unterbrochen ist.

Ich habe an einem Orgelwerk einen Balg von etwas anderer Construction machen lassen. (Fig. 263). Zwischen aa', bb' und cc' liegen die beiden Kammern A und B, in bb' und cc' sind Ventile v' und v'', die sich nach Oben öffnen. Bei d (an c anschließend) dreht sich das Brett de, das auch ein Ventil v hat, in einem Lederscharnier, während zwischen

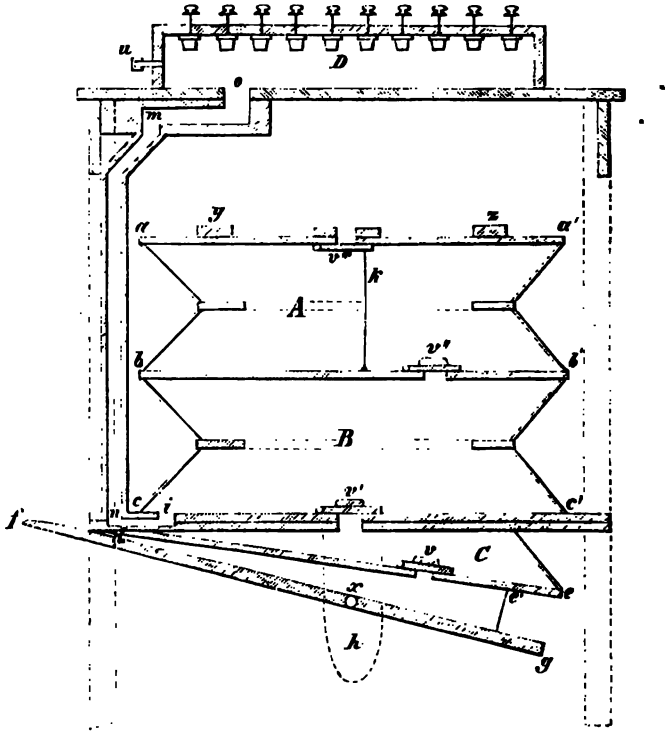


Fig. 263.

c' und e ein breiteres Stück Leder schließt, ebenso seitwärts zwischen diesen beiden Brettern, so daß diese Lederflächen bei der Drehung von de um d sich in Falten legen, wenn de an cc' genähert, sich aus einander dehnen, wenn de von cc' abgezogen wird; der Raum zwischen cc' und de bildet also eine dritte Kammer C. Die Bewegung des Brettes de wird nun mittelst eines Hebels fg bewirkt. An den horizontalen Fußleisten, von denen in der Figur nur die eine zu sehen ist, sind einander gerade gegenüber, die Holzstücke h angemacht; durch diese gehen die Zapfen einer Achse senkrecht zur Ebene der Zeichnung; diese

Achse x nimmt in der Mitte ihrer Länge den Hebel fg auf, so daß hier der Drehpunkt des Hebels sich befindet; der Endpunkt g ist mit einem Vorstoß des Brettes de durch ein Stäbchen verbunden, das an beiden Enden Gelenke hat, denen aber nur eine begrenzte Drehung gestattet ist. Im Ruhezustand sind die Kammern A und B geschlossen, d. h. das Brett aa' liegt auf bb', bb' auf cc'; die Kammer C ist geöffnet, d. h. cc' und de haben die Lage der Figur; die Platte de senkt sich immer von selbst in diese Lage, wenn auf den Hebel fg kein Druck ausgeübt wird. Tritt man nun mit dem Fuß auf das Ende f des Hebels fg, so dreht sich dieser um seine Drehachse x, g geht in die Höhe, also auch e' und e d. h. die Seite e des Brettes de, dieses dreht sich um die Kante d, de legt sich gegen cc', die Kammer C wird geschlossen, die darin vorhandene Luft ist durch das Ventil v' in cc' nach B geschoben, weshalb bb' sich schon etwas hebt, die Kammer B sich öffnet; sogleich aber vertheilt sich die in B übergegangene Luft auf A und B, aa' hebt sich ebenfalls, indem Luft von B durch das Ventil v'' nach A geht. Hört der Druck auf f auf, so sinkt e, die Kammer C saugt Luft durch das Ventil v; beim nächsten Druck auf f wird diese Luft in die Kammer B gedrückt, die ihrerseits einen Theil derselben durch das Ventil v'' in bb' an die Kammer A abgiebt. So erweitern sich nach und nach, bei fortgesetztem Arbeiten am Hebel fg, beide Kammern A und B, sie füllen sich mit Luft. Von der Kammer B geht seitwärts das Rohr inmo ab und mündet in den Windkasten D, in welchem die Luft sich ansammelt. Die oberste Holzplatte aa' hat auch ein Ventil v''', eine Lederklappe, die sich nach Innen öffnet, aber, um sie zu hindern, durch ihre Schwere sich zu öffnen, wird sie durch eine Feder leise angedrückt. Inwendig ist eine Schnur k an die Klappe befestigt, die bis an die Platte bb' reicht und mit ihrem anderen Ende an dieser fest gemacht ist, so lang, daß die Klappe geöffnet wird, sobald die Platte aa' die höchste Höhe erreicht hat, die sie erreichen darf, um nicht die Wandungen des Balges zum Bersten zu bringen; wenn diese Grenze erreicht ist, zieht die an bb' befestigte Schnur das Ventil v''' auf, es entflieht etwas Luft, die Platte aa' sinkt wieder, das Ventil schließt sich.

Um dem ausströmenden Wind eine gewisse Stärke zu geben, ist auf der Oberplatte aa' auf jeder Seite eine schwere eiserne Platte y, z aufgeschraubt; will man noch mehr Windstärke haben, so kann man noch flache Gewichtsstücke auflegen.

Der Wind in der Windlade D kann nun verschiedentlich benutzt werden. Erstlich sind in der Decke der Windlade mehrere Löcher, die sich durch Ventile von Innen verschließen, angebracht; in die Löcher auf der Deckplatte pq (Fig. 264) können Orgelpfeifen und andere tönende Instrumente eingesetzt werden. Die Ventile werden von Innen durch eine Drahtfeder gegen die Ränder der Oeffnungen gedrückt; von Außen greift neben der Oeffnung ein Draht durch eine enge Bohrung auf das Ventil hinein, drückt man auf den Knopf, der auf jedem Draht steckt, so strömt der Wind durch die betreffende Oeffnung aus. Um

wenigstens ein Ventil dauernd offen zu halten, schraubt man einen Stift daneben in die Platte, schneidet oben eine Schraube daran und setzt einen horizontalen Arm darauf, der sich so tief schrauben läßt, daß, wenn man ihm die Richtung nach dem Ventilkopf giebt, er diesen niederhält und das Ventil öffnet.

Zu einer anderen Verwendung der in der Windlade verdichteten Luft ist an der schmalen Seite bei u ein Loch in die Wand gebohrt und ein messingenes Futter eingesetzt, welches etwa 1 cm. vorragt und mit einer äußeren Schraube versehen ist. Für gewöhnlich wird diese Oeffnung durch eine auf die vortretende Hülse zu schraubende Kapsel verschlossen. Soll aber der Wind hier Abzug finden, so wird ein etwa 6 cm. langes, nach Außen schwach kegelförmig sich verjüngendes, gut abgeschliffenes Rohr aufgeschraubt; hierauf kann man die verschiedensten Gegenstände aufsetzen, wenn sie nur mit einer auf den Kegel passenden Ansatzröhre versehen sind. So z. B. kann man auf den Kegel ein Blasrohr zum Glasblasen aufstecken, dessen Spitze etwa wie ein gewöhnliches Blasrohr seitwärts gebogen ist. Unterhalb der Platte, auf welcher die Windlade sitzt, wird ein flacher Eisenstab in einem Holzfutter zum Ein- und Ausschieben angebracht, auf diesen mittelst einer Blechhülse die Schmelzlampe aufgestellt. Ein ähnliches Rohr mit etwas weiterer Oeffnung wird uns in der Akustik dienen, die Seebeck'sche Lochsirene anzublasen.

Oder man verschafft sich ein Blechrohr, 1—$1^1/_2$ m. lang, an das am einen Ende ein 4—5 cm. langes Röhrchen unter rechtem Winkel angelöthet ist, das genau auf den Kegel paßt; das andere Ende des langen Rohrs ist an ein Rohr von Schmiedeeisen gelöthet, das im Metall so stark ist, daß es starke Hitze verträgt und dazu gebraucht werden kann, ein starkes Kohlenfeuer zu nähren. Da der Luftstrom ununterbrochen fortgeht, so ist die Wirkung natürlich viel stärker als die des einfachen Blasebalgs. Die große Länge des Rohrs gewährt den Vortheil, daß das Gebläse weit vom Feuer entfernt stehen kann, daher keinen Fährlichkeiten ausgesetzt ist. Derselbe Apparat läßt sich noch in vielen Fällen, z. B. zu Verdünstungsversuchen gebrauchen, kurz überall, wo ein ununterbrochener Luftstrom nöthig ist. (Fig. 264) stellt das Instrument in perspectivischer Darstellung vor; der Raum zwischen den vier Füßen eines Tisches nimmt den Balg, die Tischplatte EF die Windlade MN auf. Die Vorderseite GH wird durch eine an den Kanten mit Leder belegte Holzplatte geschlossen, welche bei K Knöpfe zum Anfassen, bei r halbkreisförmige, drehbare Knöpfe hat, um die Platte in ihrer Lage festzuhalten.

γ. Das Cylindergebläse. Das Cylindergebläse, welches jetzt bei Hochöfen und anderen großen Feuerungsanlagen am meisten gebraucht wird, besteht aus dem glatt gebohrten gußeisernen Cylinder A (Fig. 265), in welchem der Kolben B, der an der Wandung luftdicht anschließt, durch Dampf- oder Wasserkraft regelmäßig auf- und niederbewegt wird; die Kraft wirkt auf die durch die Stopfbüchse C gehende

Kolbenstange D. Die Kanäle a und b setzen den Cylinder mit der äußeren Atmosphäre in Verbindung und haben Ventile, die sich nach Innen öffnen. Durch die Kanäle c und d wird der Cylinderraum mit dem Kasten E in Communication gesetzt, welcher nur den einen Ausgang e hat; bei c und d sind Ventile, die sich nach Außen öffnen. Geht der Kolben von Oben nach Unten, so saugt er durch a Luft ein

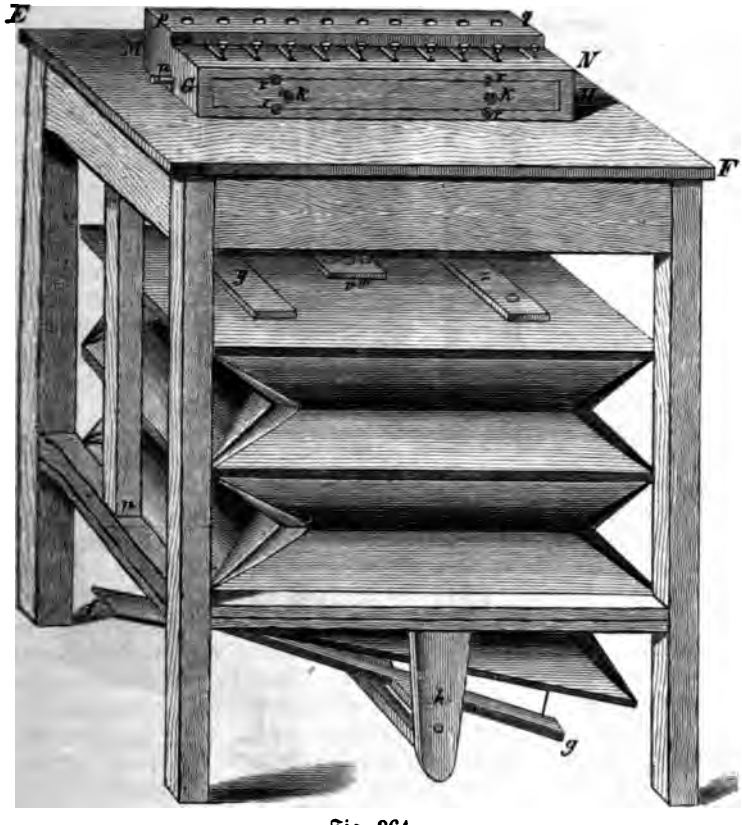


Fig. 264.

und stößt die unter ihm vorhandene durch das Ventil d nach dem Windkasten E; die Ventile a und d öffnen, b und c schließen sich. Geht der Kolben in die Höhe, so saugt er Luft durch b und stößt die über ihm vorhandene durch c nach dem Kasten E, b und c öffnen, a und d schließen sich. Die in E verdichtete Luft wird durch die Röhre c zum Feuerraum, oder wo sie sonst benutzt werden soll, geführt.

Der durch die Röhre e ausströmende Wind hat aber abwechselnd

größere und geringere Geschwindigkeit, ist nicht gleichmäßig; denn der Kolben hat bei seiner auf- und abwärts gehenden Bewegung stets in der Mitte der Cylinderhöhe die größte Geschwindigkeit, weil die bewegende Kraft bis dahin in diesem Sinne auf ihn wirkt; er legt die eine Hälfte des Weges mit beschleunigter, die andere mit verzögerter

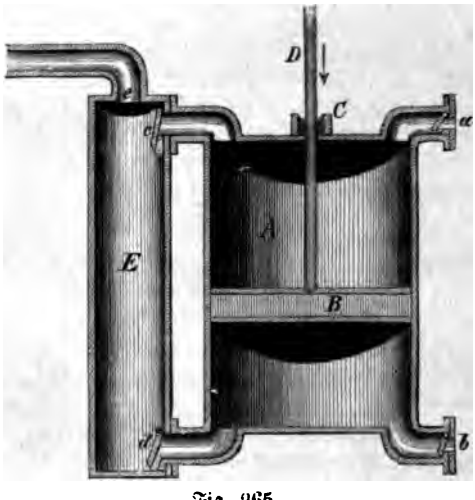


Fig. 265.

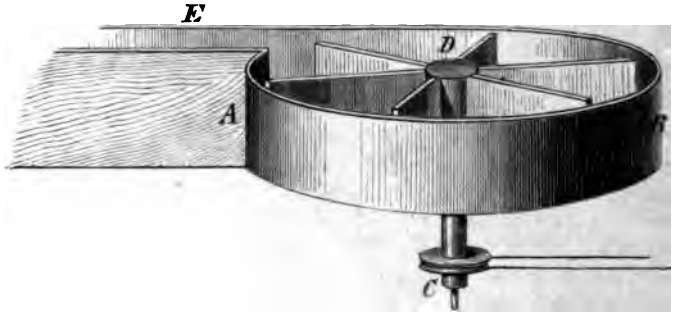


Fig. 266.

Geschwindigkeit zurück, so daß die Geschwindigkeit jedesmal, wenn er am Ende des Cylinders angekommen, zu Null geworden ist. Die Zwecke, wozu der Luftstrom verwendet wird, erfordern aber eine dauernd gleichmäßige Stärke. Diese wird nun erreicht, indem man die Röhre des Windkastens E in einen Behälter münden läßt, dessen Rauminhalt viel größer als der Cylinder A ist. Je größer dieser Behälter ist, desto mehr gleicht sich die Unregelmäßigkeit des Luftstromes aus.

δ. Das Centrifugalgebläse. Durch einen meist aus Eisen, zuweilen auch aus Holz gefertigten großen Cylinder AB (Fig. 266), die Trommel, ist eine durch Dampf- oder Wasserkraft in Rotation versetzte Welle CD geführt, auf der etwa 6 Flügel aus Eisenblech angebracht sind. Um diese Flügel sichtbar zu machen, ist in der Zeichnung die Decke der Trommel entfernt gedacht. Die Flächen dieser Flügel stehen senkrecht gegen die Richtung der Bewegung und sind zuweilen etwas nach dieser Richtung gekrümmt. Die Trommel ist mit einem Abflußrohr E für den Wind versehen und hat in der Nähe der Achse im Boden einige Oeffnungen, durch welche die Luft einströmen kann. Die schnelle rotirende Bewegung des Rades theilt sich der Luft mit und dadurch erhält diese eine Centrifugalkraft, vermöge der sie mit großer Geschwindigkeit durch den Canal E abfließt.

IX. Akustik.

1. Transversalschwingungen der Saiten.

a. Versuche mit gespannten Körpern linearer Form. Die Gesetze, welche für die Schwingungen der Saiten gelten, behalten ihre Gültigkeit auch für alle festen Körper mit einer vorherrschenden Dimension, Falls diese durch Spannung elastisch geworden, und umgekehrt. Der Bequemlichkeit halber werden wir uns daher zu den elementaren Versuchen in vielen Fällen, statt der Saiten, der Seile bedienen, so namentlich bei den Versuchen, welche die Abhängigkeit der Schwingungszahlen von der Länge, Dicke und dem specifischen Gewicht nachweisen.

Man befestige ein Seil von etwa 5—8 mm. Durchmesser und 10m Länge am einen Ende, ziehe es horizontal über eine Rolle und beschwere das andere Ende mit einem so bedeutenden Gewicht, daß das Seil straff gespannt wird; man wird 10—15 Kgr. anwenden müssen. Wenn man nun das Seil in seiner Mitte faßt, seitwärts ausbiegt und wieder frei läßt, so wird es in der Ebene, in welcher die Ausbiegung geschehen, so langsam hin- und herschwingen, daß man die Schwingungen zählen kann. Man zähle die Schwingungen z. B. eine Minute lang. Man nähere dann die Rolle dem Befestigungspunkte des Seils um $^1/_4$ des bisherigen Abstandes, und stelle mit den jetzigen $^3/_4$ der ganzen Seillänge denselben Versuch an, wie vorher mit der ganzen Länge; zählt man wieder die Schwingungen während einer Minute, so wird man finden, daß das Seil jetzt $^4/_3$ so viele Schwingungen macht als vorher; läßt man dann die Hälfte des Seils schwingen, dann $^1/_3$, $^1/_4$ ꝛc., so wird man resp. 2, 3, 4 ꝛc. Mal so viele Schwingungen in derselben Zeit zählen.

Nimmt man Seile von ungleicher Dicke, aber derselben Länge und aus demselben Stoff, und stellt die Versuche, mit Beibehaltung der nämlichen Länge, sonst eben so an, so findet man das Gesetz bestätigt, daß die Schwingungszahlen sich umgekehrt wie die Dicken verhalten.

Um ein recht auffallendes Verhältniß zu bekommen, kann man hier auch ein Seil und eine Hanfschnur mit einander vergleichen.

Man spanne dasselbe Seil, bei gleicher Länge, einmal mit 16 Kgr. ein andermal mit 12,96 Kgr. und zähle die Schwingungen, die dasselbe in 1 Minute macht; so wird man finden, daß sie sich wie 4 : 3,6 d. h. wie $\sqrt{16} : \sqrt{12{,}96}$ verhalten; die Schwingungszahlen verhalten sich also wie die Quadratwurzeln aus den spannenden Gewichten.

Ganz eben so findet man das Gesetz über die specifischen Gewichte wenn man Drähte von verschiedenen Metallen, oder einen Draht und eine Darmsaite, oder eine Hanfschnur dem Versuch unterwirft, Falls beide gleiche Länge und gleiche Dicke haben, die Schwingungszahlen verhalten sich umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den specifischen Gewichten. Sollte man die Körper nicht von gleicher Dicke bekommen können, so müßte man die gefundenen Schwingungszahlen erst auf gleiche Dicke reduciren. Daß man die Dicken messen, die spec. Gewichte durch Abwägen bestimmen muß, ist wohl selbstverständlich. Die Dicken aber be-

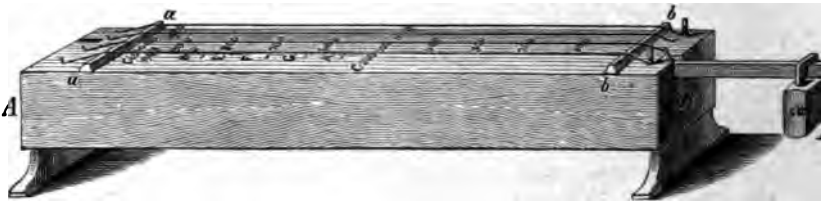


Fig. 267.

kommt man dadurch genau, daß man den Draht, die Saite, Schnur oder das Seil mehrmals um einen runden Stab wickelt, so daß die Windungen dicht an einander zu liegen kommen, dann etwa 10 Windungen zusammen mißt und dieses Maß durch die Zahl der Windungen dividirt. Was die Reduction wegen der Dicke betrifft, so möge folgendes Beispiel zur Erläuterung dienen: gesetzt, man habe zwei Körper schwingen lassen, die bei gleicher Länge, aber verschiedener Dicke Schwingungen machen, deren Anzahl sich wie 108 : 63 verhalten; ihre Dicken mögen sich wie 3 : 5 verhalten, so frägt sich, wie viel Schwingungen hätte der erste gemacht, wenn er die Dicke des anderen gehabt hätte? Das oben ermittelte Gesetz führt auf die Proportion:

$$5 : 3 = 108 : x,$$

woraus $x = 64^4/_5$; also würden sich die Schwingungen der beiden Körper, wenn sie gleiche Dicke hätten, wie $64^4/_5 : 63$ verhalten.

b. Das Monochord. Dies ist ein Kasten AB (Fig. 267), dessen Decke als Resonanzboden dient und deshalb aus einem dünnen tannenen Brett mit regelmäßigem Gefüge besteht. Gegen die beiden Enden des Resonanzbodens hin sind feste Stege aa, bb angebracht, über welche verschiedene Saiten gezogen werden. An der einen Seite werden die

Saiten an Stifte gehakt, an der anderen werden zwei Saiten mit Wirbeln befeſtigt, wie beim Fortepiano, die beiden anderen durch Hebel, wie (Fig. 267 a.) einen derſelben darſtellt. Der untere Haken a greift in einen im Holz des Kaſtens angebrachten Stift, der den Drehpunkt des Hebels bildet, an den anderen c werden die Saiten eingehakt. An dieſe Hebel werden 5 Pfund ſchwere Gewichte p (Fig. 267) gehängt und feſt geſchraubt; der Hebel ſelbſt iſt eingetheilt, von 5 zu 5 Theilſtrichen iſt durch eingeſtempelte Ziffern das Gewicht angezeigt, welches das angehängte Gewicht vermittelſt der Hebelkraft an dieſer Stelle hervorbringt. Auf dem Reſonanzboden ſind die Eintheilungen für die Töne der diatoniſchen Tonleiter nach arithmetiſchem Verhältniß, ſo wie die der chromatiſchen Tonleiter angegeben; ſämmtliche Theilungen ſind in (Fig. 268) in größerem Maßſtabe ausgeführt. Zu dem Monochord gehören noch verſchiedene Stege, die unter die Saiten geſetzt werden, um nur beſtimmte Theile derſelben ſchwingen zu laſſen. Die Spannung, welche die Saiten hier durch die Hebel erfahren, iſt ſehr viel beſſer, als, wie gewöhnlich vorgeſchrieben wird, durch Rollen, deren Reibung das angehängte Gewicht nicht zur vollen Wirkung kommen läßt, ein Uebelſtand, der beim Hebel ganz wegfällt. Die Saiten werden bei den Verſuchen mit einem Violinbogen geſtrichen. Alle Nebenapparate, als: die zwei Gewichte, zwei Hebel, ein Stimmhammer, mehrere Saiten, Stege und ein Stück Colophonium werden in einem Kaſten verwahrt, der in Fächer getheilt iſt, ſo daß jeder Gegenſtand ſein beſtimmtes Fach bekommt.

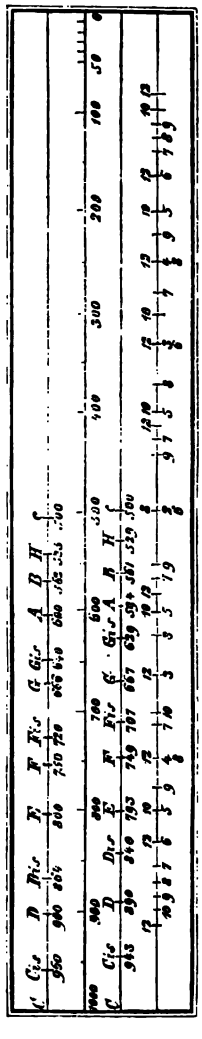


Fig. 268.

Wer auch nur ſo viel muſikaliſches Gehör hat, daß er die Töne der Tonleiter erkennt, wird ſich überzeugen, daß dieſe richtig erzeugt werden durch diejenigen Saitenlängen, welche an dem Monochord dafür angegeben werden, wenn man nur jedesmal den Steg genau an die richtige Stelle ſetzt und, um einen ſonſt erfolgenden Klirrton zu verhindern, den Fingernagel über dem Steg auf die Saite legt.

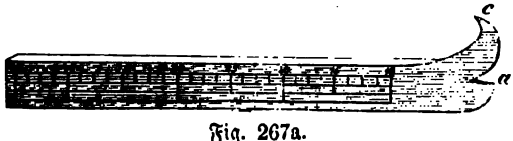


Fig. 267a.

Die Saitenlängen für die Töne der Tonleiter sind aber: 1, $^8/_9$, $^4/_5$, $^3/_4$, $^2/_3$, $^3/_5$, $^8/_{15}$, $^1/_2$. Nach dem Gesetze über die Abhängigkeit der Schwingungszahlen von der Länge der Saiten, verhalten sich also die Schwingungszahlen dieser Töne wie $1 : {}^9/_8 : {}^5/_4 : {}^4/_3 : {}^3/_2 : {}^5/_3 : {}^{15}/_8 : 2$. Also lernt man hieraus die relativen Schwingungszahlen kennen.

Will man Versuche mit Saiten von verschiedener Dicke anstellen, bei denen aber die Spannung dieselbe sein soll, (die Länge der Saiten ist beim Monochord immer dieselbe, wenn man sie in ihrer ganzen Länge schwingen läßt), so muß man solche Saiten ja nicht von sehr verschiedener Dicke nehmen, weil sonst die dickere, bei einerlei Spannung mit der dünneren gar keinen reinen Ton geben würde. Um das oben S. 257 für die Dicken abgeleitete Gesetz auch für tönende Schwingungen experimentel zu beweisen, wird man die gleichgespannten Saiten anstreichen und die Töne mit einander vergleichen. Kann man den Ton der dickeren Saite im Verhältniß zu dem der dünneren nach dem Gehör bestimmen, so kann man auch seine relative Schwingungszahl leicht berechnen. Vermag das Gehör dies nicht, so muß man suchen, welche Länge der dünneren Saite etwa die obere Octave des Tons der dickeren Saite giebt, woraus man dann leicht die relative Schwingungszahl findet und dadurch das Gesetz bestätigt finden wird.

Das Gesetz der Spannungen wird man an einer Saite prüfen, aber auch hier nur wenig verschiedene Spannungen anwenden, weil dieselbe Saite nicht allzu große Verschiedenheiten verträgt, da sie bei zu schwacher Spannung keinen reinen Ton giebt, bei stärkerer aber reißen kann.

Um das Gesetz, die specifischen Gewichte betreffend, an tönenden Schwingungen zu prüfen wird man sich einer Stahl und Messingsaite bedienen, muß aber die specifischen Gewichte sowohl wie ihre Dicken vorher genau bestimmen; die Spannungen werden durch die Hebelgewichte gleich gemacht; Saiten aus zweierlei Metallen oder gar Metall- und Darmsaiten von genau gleicher Dicke wird man meist nicht haben können; man reducire daher den höheren Ton auf gleiche Dicke mit der tiefer klingenden Saite, d. h. man berechne nach dem bekannten Verhältniß der Dicken, welchen Ton die höher klingende Saite bei gleicher Dicke mit der anderen geben müßte, nachdem der Ton, den sie wirklich giebt, durch das Gehör oder durch Vergleichung auf dem Monochord bestimmt worden. Es bleibt dann der bloße Einfluß des specifischen Gewichts übrig, so daß man leicht das bekannte Gesetz daraus ermitteln wird.

Am Monochord zeigt man auch noch die freiwillige Theilung der Saite auf folgende Weise. Man halte sich einige papierne Reiterchen bereit, d. h. 2 mm. breite, 8 mm. lange Streifchen Papier, die man in der Mitte faltet, setze einen Steg unter die Saite in $^1/_3$ ihrer Länge, dann auf die Saite ein Reiterchen genau in $^2/_3$ und noch einige andere in beliebigen Punkten des längeren Stücks, streiche das kürzere ($^1/_3$ der Saite), so wird das Papier in $^2/_3$ liegen bleiben, während alle anderen

herunterfallen. In $^2/_3$ ist also ein Schwingungsknoten. Setzt man einen Steg unter den Punkt, der $^1/_4$ abschneidet, Reiterchen in $^1/_2$ und $^3/_4$, dann andere an anderen Punkten, so bleiben jene beiden unbeweglich und alle anderen fallen herunter.

c. Die Aeolsharfe. Auf dieser freiwilligen Theilung beruht die Aeolsharfe. Auf einem länglichen Kasten AB (Fig. 269) mit Resonanzboden sind 6 Saiten aufgespannt und alle auf F gestimmt, so daß sie nur eine geringe Spannung haben. Sie werden mit einem Brette CD (Fig. 270) bedeckt, welches auf beiden Längsseiten freie Oeffnungen läßt, und zwar gestaltet es sich auf der einen bei EF zu einem Hohlprisma, so daß es den Wind leicht aufnehmen und gegen die Saiten führen kann. Läßt man den Wind durchwehen, so wirkt er

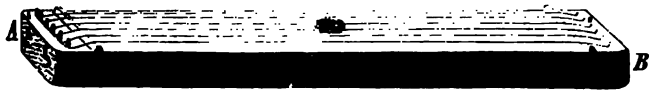


Fig. 269.

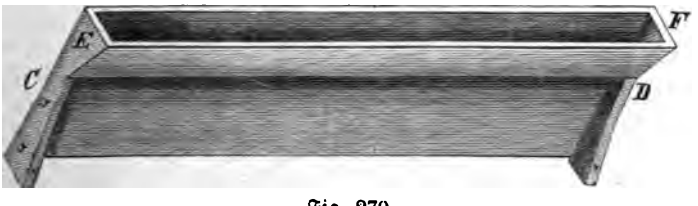


Fig. 270.

sehr verschieden auf die Saiten, bald stärker bald schwächer, trifft die eine hier, die andere da; dadurch entstehen freiwillige Theilungen, welche die verschiedensten Töne erzeugen. Man muß zum Versuche mäßig günstiges Wetter wählen und Zugluft durch das Instrument durchgehen lassen.

2. Seilwellen.

Man befestige ein mehrere Meter langes Seil an beiden Enden so, daß es nicht eben stark gespannt wird, dann führe man in der Nähe des einen Befestigungspunktes einen Schlag gegen das Seil. Erst wird nur ein kleiner, dem getroffenen Punkte anliegender Theil des Seils in Bewegung gerathen. Nach kurzer Zeit aber sieht man die Bewegung sich weiter fortpflanzen. Die Gestalt, welche das Seil nach und nach annimmt, heißt eine Seilwelle. Man kann dieselbe Welle auch an einem Seil hervorbringen, das nur an einem Ende befestigt ist, am anderen in der Hand gehalten und abwechselnd auf- und abbewegt wird.

Ist die Seilwelle am Befestigungspunkte des Seils angekommen, so wird sie, da sie nicht weiter gehen kann, an diesem Punkte zurückgeworfen werden, es wird eine neue Welle entstehen, welche sich nach entgegengesetzter Richtung bewegt; aber nicht nur in der Horizontalen ist die Bewegung entgegengesetzt gerichtet, sondern auch in der Verticalen, jede Hebung geht in eine Senkung, jede Senkung in eine Hebung über. Fährt man nun fort, immer neue Wellen zu erregen, so treffen die reflectirten mit der ursprünglichen zusammen und man sieht deutlich das Aufheben der Welle (die Interferenzen), wo Wellenberg und Wellenthal zusammentreffen, die Erhöhung, wenn zwei Wellenberge, die Vertiefung, wenn zwei Wellenthäler zusammentreffen; man sieht dann ebenso, wie die fortschreitende Bewegung in eine stehende Schwingung übergeht, wenn die successiven Erregungen in gleichen Zwischenzeiten erfolgen, so daß dann nach der doppelten Zeit, welche die Welle braucht, das Seil zu durchlaufen, stets dieselben Punkte Schwingungsknoten bilden, und wieder dieselben in die Mitte der Schwingungsbäuche fallen, d. h. die größte Ausweichung nach Oben und nach Unten machen.

3. Schwingung der Stäbe. Die Stimmgabel.

Um die Gesetze, nach welchen die Schwingungszahlen von der Länge, Dicke und dem specifischen Gewichte der Stäbe abhängen, experimentel nachzuweisen, nehme man Stäbe von 1—2.m Länge und nur wenigen mm. Dicke, theils aus demselben, theils aus verschiedenen Stoffen, jedoch so, daß die zu demselben Versuche dienenden stets nur in einer der genannten Beziehungen verschieden sind, spanne sie in einen Schraubstock und versetze sie in transversale Schwingungen; dann zähle man die Schwingungen, die sie in einer bestimmten Zeit, etwa in einer Minute machen, und vergleiche die gewonnenen Zahlen mit einander. Man wird dann finden, daß, wenn die Stäbe sich nur in der Länge von einander unterscheiden, ihre Schwingungszahlen sich umgekehrt wie die Quadrate der Länge verhalten, bei verschiedener Dicke im geraden Verhältniß der Dicken stehen; das letzte Gesetz, daß sich die Schwingungszahlen umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den specifischen Gewichten verhalten, wird nicht so genau zutreffen, weil man hier Körper aus verschiedenen Stoffen nehmen muß, denen dann auch eine ungleiche specifische Elasticität zukommt.

Will man noch zeigen, daß die Gesetze auch für tönende Schwingungen Gültigkeit haben, so bediene man sich kleiner Stäbe von einigen Centimeter Länge eines elastischen Metalles, wie Stahl, spanne sie in den Schraubstock, streiche sie mit dem Bogen und vergleiche ihre Töne. Um leicht vergleichbare Töne zu bekommen, wähle man die Längen so, daß ihre Quadrate sich wie die relativen Schwingungszahlen leicht zu vergleichender Töne, wie Grundton, Quinte und Octave verhalten. Heißen x, y, z die zu wählenden Längen der Stäbe, so muß, da die Schwingungszahlen der genannten Töne 1, $^3/_2$, 2

sind, $x^2 : y^2 : z^2 = 1 : {}^2/_3 : {}^1/_2$ oder $x : y : z = 1 : \sqrt{{}^2/_3} : \sqrt{{}^1/_2}$ sein, von denen man dann ein beliebiges Vielfache nehmen kann, so z. B. von allen das 10fache. Man erhält dann für die Töne c, g, c_1 (oder dieselben Töne einer anderen Octave, es kommt ja hier nur auf das Verhältniß an) die Längen 10, 8,16 und 7,07 cm. Bezüglich der Dicke wird man in ähnlicher Weise verfahren, nämlich leicht zu bestimmende Töne wählen und danach die Dicke der Röhre berechnen, sie mit dem Bogen streichen und sich überzeugen, daß in der That die angenommenen Töne erfolgen. Bei dem Versuch über das Gesetz, die specifischen Gewichte betreffend, kann man nicht so verfahren, weil man die Körper nehmen muß, wie sie sind. Es kann sich treffen, daß die Töne, welche bei gleicher Länge und Dicke der Stäbe erfolgen, schwer zu bestimmen sind; man muß dann auf dem Monochord einen unison klingenden hervorrufen.

Auf den Transversalschwingungen der Stäbe beruht die Eisenvioline

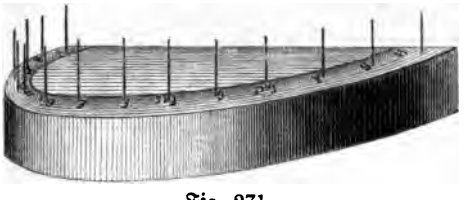


Fig. 271.

(Fig. 271). Auf einem Kasten mit Resonanzboden sind Eisen- oder Stahlstäbe im Halbkreise, senkrecht zur Ebene der Decke auf der oberen schmalen Fläche der massiven Seitenwand befestigt. Die eine Hälfte der Stäbe hat einerlei Dicke, aber verschiedene Länge, die andere Hälfte hat dickere Stäbe. An der Rückseite ist ein Griff eingeschnitten, wobei das Instrument gehalten wird, während man die Stäbe mit dem Bogen streicht. Die Reihenfolge der Töne ist: A, B, H, C, Cis, D, Dis, E, F, Fis, G, Gis, A, B, H; sie umfaßt also über eine Octave.

Die Längenschwingung der Stäbe bietet so viele verschiedene Fälle dar, daß wir uns hier nicht auf alle einlassen können; es mag genügen, die eine Schwingungsart zu besprechen, welche noch ein besonderes anderweitiges Interesse bei der Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in festen Körpern hat, nämlich diejenige Schwingung, welche entsteht, wenn ein Stab in der Mitte gehalten und in der einen Hälfte gestrichen wird. Metallstäbe werden mit einem Stück Tuch gerieben, das man mit fein gepulvertem Colophonium bestreut hat; ebenso Stäbe von Holz; Glasstäbe oder Glasröhren reibt man mit einem feucht gemachten Tuch. Kurze Stäbe jeder Art werden in der Mitte mit zwei Fingern der einen Hand gefaßt, während die eine Hälfte des Stabes durch die andere Hand auf die angegebene Weise gerieben wird. Für lange Stäbe oder Röhren wendet man die Klemme (Fig. 272) an; sie wird

mit der Schraube s an einen Tisch geschraubt, die Röhren werden mittelst der Schraube t zwischen die Klötze a, b in der dafür eingeschnittenen Höhlung befestigt; die Höhlung ist mit Leder ausgelegt. Bei dieser Schwingungsart ist jede Hälfte des Stabes $^1/_4$ der Wellenlänge. Bei Stäben aus demselben Stoff wird man leicht finden, daß die Schwingungszahlen der Längentöne sich umgekehrt wie die Längen der Stäbe verhalten. Da aber die Töne sehr hoch, daher schwer zu bestimmen sind, so muß man sehr lange Stäbe nehmen, um die Töne in den Bereich der leichter bestimmbaren zu bringen.

Zu den Versuchen mit Stimmgabeln bedarf man zunächst eines Exemplars, das auf a gestimmt ist; da aber dieser Ton von ver-

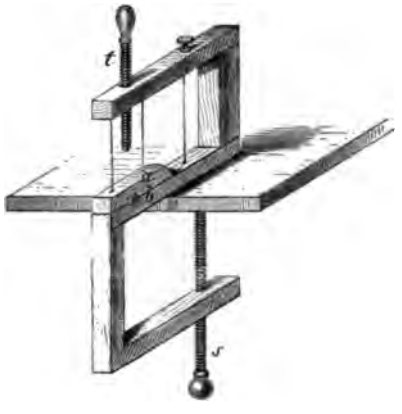


Fig. 272.

schiedenen Orchestern auf verschiedener Höhe gehalten wird, so muß man die Stimmgabel, in deren Besitz man gekommen, vor Allem auf die Schwingungszahl prüfen. Dies kann aber nur mit Hülfe der Formel für Saiten:

$$n = {}^1/_2 \sqrt{\frac{2gP}{LG}},$$

wo n die Schwingungszahl in 1 Secunde, g der Fallraum in der ersten Secunde beim freien Fall (4,9 m), P die Spannung, L die Länge, G das Gewicht der Saite bezeichnen, berechnet werden, ist also, wenn alle diese Größen ermittelt werden müssen, eine ziemlich umständliche Untersuchung; zudem ist zu beachten, daß G das Gewicht nur des wirklich schwingenden Theils der Saite bedeutet; man muß daher das Gewicht dieses Theils dadurch bestimmen, daß man von einer zweiten ganz gleichen Saite ein Stück von derselben Länge abschneidet und wägt. Da aber die Identität zweier Saiten auch schwer zu ermitteln ist, so muß man ein Stück derselben Saite messen und wägen und daraus das Gewicht

der dem Verſuche zu unterwerfenden Saite berechnen. Die Spannung der Saite wird nun ſo lange verändert, bis die Saite mit der Stimmgabel uniſon klingt.

Will man die Stimmgabel auf die jetzt übliche Stimmung von 440 Schwingungen bringen, ſo muß man erſt die Saite auf dem Monochord auf dieſen Ton ſtimmen und die Gabel, wenn ſie tiefer iſt, durch Abſchleifen von der Länge der Zinken, iſt ſie höher, durch Dünnerſchleifen derſelben im Ton abändern. Mit der Feile läßt ſich die Gabel nicht bearbeiten, weil ſie gehärtet iſt. Das Gehör muß

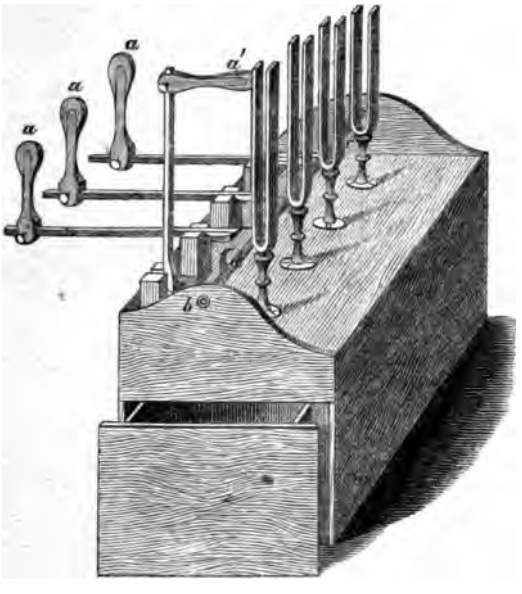


Fig. 273.

entſcheiden, wann der richtige, mit der Saite übereinſtimmende Ton erreicht ſein wird.

Man kann auch auf einen hohlen, mit Reſonanzboden verſehenen Kaſten mehrere Stimmgabeln von verſchiedenen, aber nach irgend einem Princip abgeſtimmten Tönen aufſetzen. Ich habe einen ſolchen Apparat mit 4 Stimmgabeln, die den Grundton, die Terz, Quint und Octave geben (Fig. 273). Es kann jede Stimmgabel einzeln, oder es können zwei, drei oder alle vier zugleich in's Tönen gebracht werden. Zu jeder Gabel gehört ein Hammer a, deſſen auffchlagende Bahn mit weichem Leder belegt iſt. Eine durch einen raſchen Schlag zu drehende Walze bc hat jedem Hammer gegenüber einen Stift d, der auf das Ende des Hammerſtiels ſchlägt; der Stiel iſt um einen Stift drehbar, ſo gelegen,

daß der Hebelarm des Hammers länger ist als der des Stielendes; der Hammer schlägt daher so stark gegen die eine Zinke der Gabel, daß er sofort wieder davon zurück schnellt und den Ton nicht stört. Sollen einzelne Gabeln nicht mit tönen, so läßt man ihre Hämmer in aufrechter Lage gegen die betreffenden Gabeln anliegen, wo denn der Stiel vom Schlag der Stifte nicht getroffen wird. Der Apparat hat unter dem Resonanzboden einen leeren Raum, in den ein Kasten eingeschoben ist. Oeffnet man denselben mehr oder weniger weit, oder schließt ihn, so verändert sich der Ton und es ist interessant, die verschiedenen Modificationen zu verfolgen.

4. Schwingung der Platten.

Um die Chladnischen Figuren hervorzubringen bedient man sich der Klemme (Fig. 274). Bei a ist ein cylindrisches oder konisches Klötzchen von Holz aufgeleimt, das Ende der Schraube b stößt gegen die Feder bc, welche da, wo sie das Klötzchen a trifft, mit etwas weichem Leder überleimt ist; die Scheiben werden so aufgespannt, daß der Befestigungspunkt in einer Knotenlinie liegt. Die Scheiben bestehen aus Glas Metall, Porzellan oder Holz. Glasscheiben werden matt geschliffen, die Ränder abgestumpft. Die Platten müssen ganz eben sein, daher Glasscheiben immer von Spiegelglas geschliffen werden. Bei der Befestigung der Scheiben ist darauf zu achten, daß sie horizontal liegen, sonst gleitet der Sand nach einer Seite und es entstehen keine guten Figuren. Der Bogenstrich sollte immer senkrecht gegen die Ebene der Scheibe geführt werden, an einem Punkte, der möglichst weit von einer Knotenlinie absteht. Bei schwierigeren Figuren kann man auch noch die Scheibe mit ein paar Fingern in Knotenpunkten berühren. Man streut Sand oder Lycopodiumsamen auf die Scheibe; ersterer sollte nicht zu fein, aber freilich auch nicht zu grob sein; man sollte den zu groben und den zu feinen durch Sieben entfernen. Immer soll man Sand oder was man sonst gebrauchen will, durch ein Sieb aufstreuen und die Scheibe damit gleichmäßig und nicht zu dick bedecken. Die Scheibe muß mit der Schraube befestigt werden ehe man den Sand aufstreut, weil, wenn Sandkörnchen unter die Schraube gerathen, die Scheibe davon geritzt wird, Glasscheiben entzwei gehen können.

Man schraubt die beschriebene Klemme gewöhnlich an einem Tisch fest; da man aber an einem Tisch von gewöhnlicher Höhe beim Führen des Bogens eine unbequeme Stellung hat, so schraube ich die Klemme an den Querarm AB der Halterstange (S. 9) und bringe den Arm in die mir bequemste Höhe. Der Form nach werden quadratische, rechteckige, dreieckige, kreisförmige Scheiben verwendet. Die zu erzeugenden Figuren weist jedes Lehrbuch nach.

Als krummflächige Platten dienen Gläser und Glocken; sie müssen am Rande eben und matt geschliffen werden. Glocken befestigt man durch Kitten mit dem Knopf in einen hölzernen Fuß. Man füllt in

diese Gefäße bald mehr, bald weniger Wasser und streicht sie am Rande. Bei derselben Schwingungsart tönen sie um so höher, je mehr Wasser hineingefüllt worden, also je weniger Luft zurückgeblieben ist. Gewöhnlich bekommt man vier Knotenlinien, die vom Rande zum Fuß gehen. Will man mehr Knotenlinien haben, so muß man den Finger an geeigneter Stelle auf den Rand legen. Sollen z. B. 6 Knotenlinien entstehen, so legt man den Finger um $^1/_{12}$ der Peripherie von der Stelle des Bogenstrichs auf. Die Theilung sieht man an den entstehenden Wasserwellen.

Schwingende Bewegung der tropfbaren Flüssigkeiten.

a. Heberförmige Röhre.

Den ersten und einfachsten, aber sehr instructiven Versuch stellt man mit einer überall gleich weiten, in der Mitte heberförmig gekrümmten

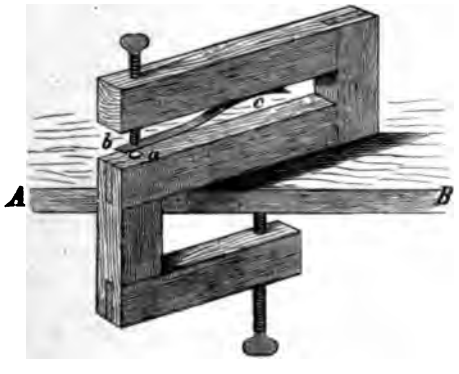


Fig. 274.

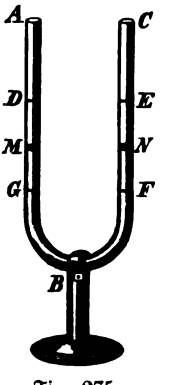


Fig. 275.

Röhre ABC (Fig. 275) an, der man zweckmäßig einen Fuß giebt, so daß sie vertical hingestellt werden kann. Man füllt sie etwa zur halben Höhe mit gefärbtem Wasser an, saugt dann im einen Schenkel das Wasser in die Höhe, stellt das Instrument hin und beobachtet die Bewegungen des Wassers. Man wird leicht bemerken, daß die Flüssigkeit in eine oscillirende Bewegung geräth, das angehobene Wasser fällt, das im anderen Schenkel steigt zu fast gleicher Höhe, wie das im ersten gehoben war, sinkt wieder u. s. w., kurz die beiden Wasseroberflächen bewegen sich wie ein Pendel, und zwar aus gleichen Ursachen, der Schwere und des Beharrungsvermögens. In beiden Fällen treten Bewegungswiderstände ein, nämlich der Widerstand der Luft, beim Wasser die Reibung an den Wänden, beim Pendel, je nach der Aufhängungsweise, die Steifheit des Fadens oder die Reibung der Drehachse an ihrer Unterlage. Die Wege der flüssigen Theile, die Amplituden der Schwingungen, werden, wie beim Pendel, kleiner und kleiner, die Be-

wegung ist abwechselnd verzögert, und beschleunigt, die Geschwindigkeit ist am größten, wenn die Oberfläche die Höhe MN erreicht hat, in welcher sie im Ruhezustande steht, Null in den Punkten der größten Amplituden D und E, wo dann die Flüssigkeit im anderen Schenkel resp. bis F und G herunterſinkt. Auch die Gleichzeitigkeit der Schwingungen findet ebenso wie beim Pendel statt, mögen diese groß oder klein sein.

b. Röhrenapparat.

In eine horizontale Röhre AB (Fig. 276) setze man in gleichen Abständen 12 oder mehr verticale Glasröhren ein und fülle so viel gefärbtes Wasser hinein, daß die verticalen Röhren zur Hälfte gefüllt werden. Dann sauge man an einer Röhre das Wasser in die Höhe, so wird es in den anderen fallen; in jeder weiter entfernten Röhre wird es aber um eine gewisse Zeit später in Bewegung kommen, daher

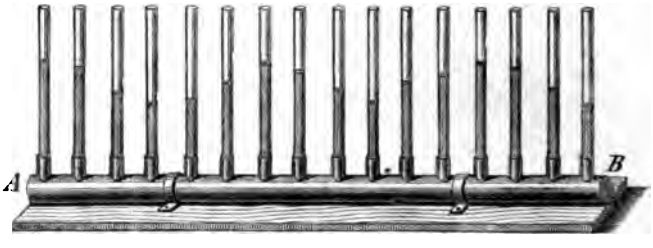


Fig. 276.

die Niveaux zu derselben Zeit in ungleichen Höhen stehen müssen; wenn das Wasser auch in der letzten Röhre seine Bewegung anfängt, so werden sämmtliche Niveaux die Wellenlinie bilden, wie sie die Figur darstellt.

c. Wellenrinne.

Zur Erforschung der Gesetze der Wellenbewegung tropfbarer Flüssigkeiten haben die Gebrüder Weber sich der **Wellenrinne** bedient. Dies ist eine lange und schmale Rinne mit Glaswänden, in welche man die Flüssigkeit gießt, deren Wellen man beobachten will. Ihre Länge beträgt 17—18 ^{dm}, ihre Breite 12 ^{mm}, die Höhe 20 ^{cm}. Die Länge wird durch drei schmale Ständer in vier gleiche Theile getheilt; die Glaswände bestehen aus Spiegelscheiben, die an diesen Ständern so an einander gelegt und verkittet werden, daß sie auf jeder Seite nach Innen eine ununterbrochene Ebene bilden. Oben bleibt die Rinne offen. Die Endflächen können aus zwei Brettchen von hartem Holz bestehen, in welche man Falze zur Aufnahme der Kanten der Glasscheiben schneidet. Da man verschiedene Flüssigkeiten in die Rinne gießen muß, so u. a. auch Alkohol, so muß man den Kitt aus Schwerspath oder Mennige und Leinölfirniß anwenden. Um Wellen in der eingegossenen

Flüssigkeit zu erregen, saugt man am einen Ende die Flüssigkeit in die Höhe. Hält man die aufgesogene Flüssigkeit in der Röhre fest, so entstehen Wellen mit vorangehendem Wellenthal, läßt man sie dagegen wieder hinunter sinken, so bekommt man Wellen mit vorangehendem Wellenberg. Da an jedem weiter vom Anfang der Rinne entfernten Punkte die Hebung oder Senkung des Wassers nach Verhältniß der größeren Entfernung später eintritt als an den näheren Punkten, so pflanzt sich die Wellenform durch die ganze Länge der Rinne fort.

Um den Vorgang im Inneren der Flüssigkeit wahrnehmbar zu machen, vermische man, wenn die Flüssigkeit Wasser ist, sehr feine Sägespäne von einer der härteren Holzarten damit. Man sieht dann, namentlich mit einer Loupe von 2—4maliger Vergrößerung, daß die Theilchen annähernd Kreise beschreiben, und jedes solche Theilchen, wenn es im höchsten Punkte seiner Bahn ist, sich auch auf dem Scheitel des

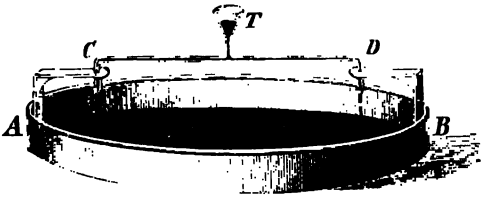


Fig. 277.

Wellenberges befindet, dagegen, wenn es im tiefsten Punkte der Bahn ist, dem Wellenthale angehört, und daß es in den Zwischenlagen der Bahn sich auch in den Theilen der Welle befindet, die entweder im Steigen oder Fallen begriffen sind. Legt man leichte Körper auf die Oberfläche, so steigen und sinken sie mit der Welle und verändern ihre Stelle auf der Oberfläche nicht.

d. Wellen und Interferenzen auf einer Quecksilberoberfläche.

Der zu diesem Versuche bestimmte Apparat ist in (Fig. 277) dargestellt. Er besteht aus einem elliptischen Gefäß AB, das aus Holz gemacht sein kann. Der Rand ist etwa 2 cm hoch. An jedem Ende der großen Achse wird an den Rand ein kleiner Ständer AC, BD angeschraubt: diese Ständer tragen eine horizontale Glasröhre CD, die an beiden Enden rechtwinklig nach Unten umgebogen und mit diesen Enden in entsprechende Löcher der an den Ständern befindlichen Arme gesteckt sind. An den umgebogenen Enden hat die Röhre enge Oeffnungen von 5 mm Weite, in der Mitte einen Trichter T, durch welchen man Quecksilber in die Röhre führt. Die umgebogenen Schenkel der Röhre CD müssen genau über den Brennpunkten der Ellipse stehen, damit das in die Röhre eingegossene Quecksilber gerade in die Brennpunkte treffe. Statt der Röhre CD kann man zu den Versuchen auch blos einen Trichter,

dessen Rohr unten konisch zuläuft und eine eben so enge Oeffnung hat, wie vorher gesagt, in den einen Arm C stecken. In das Gefäß AB gießt man bis zu einiger Höhe Quecksilber. Hat man dann das letztbeschriebene einfache Rohr oben eingesteckt und mit Quecksilber versehen, so bildet sich von dem darunter liegenden Brennpunkte aus ein System von Wellen, welche sich in concentrischen Kreisen erweitern, gegen die elliptische Seitenwand stoßen und von da nach dem anderen Brennpunkt reflectirt werden. Da sich das Quecksilber im zweiten Brennpunkt zu einem Kegel ansammelt, so wird dieser durch den Druck, den er auf die flüssige

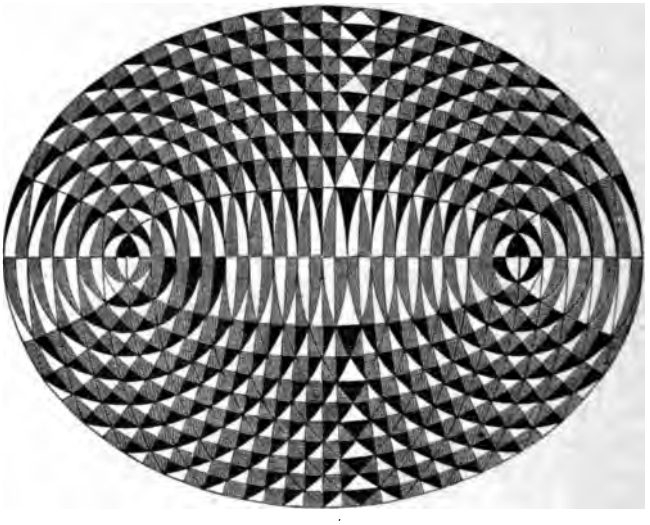


Fig. 278.

Masse ausübt, selbst zu einem Entstehungspunkte eines Wellensystems. Die sich durchkreuzenden Wellen bilden in regelmäßigen Abständen Interferenzpunkte, die sich, wie die (Fig. 278) zeigt, zu Ellipsen und Hyperbeln ordnen. Die Erscheinung ist besonders schön, wenn man directes Sonnenlicht auf die Oberfläche des Quecksilbers scheinen läßt. Wendet man die Röhre CD der (Fig. 277) an, so werden beide Brennpunkte direct zu Entstehungsmittelpunkten von Wellensystemen. Die Erscheinung ist im Wesentlichen dieselbe, nur treten die Wellentheile im letzten Falle deutlicher hervor, weil beim ersten Verfahren die bewegten Quecksilbertheile mehr lebendige Kraft verlieren als wenn sie doppelt angeregt werden.

6. Schwingungen der Luft.

Zu den meisten der folgenden Versuche bedarf man eines Gebläses, das einen continuirlichen Luftstrom giebt; das ist der doppelte Blasebalg (Fig. 263, S. 252 und Fig. 264, S. 255), den wir schon weiter oben beschrieben haben.

a. Eine Labialpfeife wird durch (Fig. 279) vorgestellt; diese ist von Holz und hat quadratischen Durchschnitt. Man hat deren auch mit kreisförmigem Durchschnitt, wo dann der Fuß von Holz, der Körper von Pappe gemacht wird. In den Orgeln sind die meisten Pfeifen aus Zinn. Die Windröhre aa muß in die Löcher der Windlade passen; der Kern, d. h. die Platte, welche den Fuß vom Körper trennt, muß ein dünnes Plättchen von sehr regelmäßigem Gefüge sein und darf nur eine schmale Ritze, die Kernspalte, am unteren Labium b frei lassen. Die Größe des Aufschnitts wird durch die Entfernung des unteren Labiums b vom oberen c bestimmt; letzterer muß zu einer scharfen Kante zugeschnitten sein und der Kernspalte gerade gegenüber liegen, so daß der aus letzterer kommende Luftstrom sich am oberen Labium bricht, d. h. vom Labium gleichsam gespalten wird, wo dann der kleinere Theil des Luftstroms ins Innere der Pfeife, das Uebrige ins Freie geht.

Fig. 279.

Man sollte solche Pfeifen nicht mit dem Munde anblasen, weil der feuchte Athem den Leim auflöst.

Diese Pfeifen hat man als offene und als gedeckte; letztere sind als Apparate immer hölzerne Pfeifen. Die Deckung besteht in einem mit weichem Leder überzogenen Holzpfropfe. Da der Pfropf etwas Raum wegnimmt, so muß die zur gedeckten bestimmte Pfeife etwas länger sein als die offene von gleichem Ton, sie kann also nicht zugleich als offene für dieselbe Tonreihe dienen, sie giebt einen tieferen Ton als die Oberoctave der gedeckten.

Die offenen Pfeifen versieht man auch noch mit einer etwa 8 cm langen offenen Hülse, welche man am oberen Ende überstreift, um die Pfeife zu verlängern, den Ton zu vertiefen.

Man wird sich etwa für die Octave des Stimmgabeltons (ā) mehrere Pfeifen verschaffen, wenigstens c, e, f, g, a, c, besser noch die ganze Octave, dann etwa c und g gedeckt, so wie das 1füßige c gedeckt und das 4füßige c offen; dann kann man bequem nachweisen, daß eine gedeckte Pfeife die Unteroctave von dem Tone der gleich langen offenen giebt.

Sehr zweckmäßig ist die sogenannte Stopfpfeife (Fig. 280), an der sich mittelst eines Stiels a b der Stopfer hineinschieben läßt, so daß man durch Ein- und Ausschieben alle Töne einer Octave damit hervor-

bringen kann. Dann muß aber das obere Labium beweglich sein, aus einem Blechplättchen bestehen, das sich seitwärts in Falzen auf- und nieder schieben läßt, weil bei gleichem Aufschnitt nicht alle Töne gleich gut ansprechen.

Eine andere Labialpfeife muß so eingerichtet sein, daß sich die Kernspalte verengen und erweitern läßt, um den Einfluß auf den Ton nachzuweisen.

Fig. 280.

Fig. 281.

Eine Pfeife mit Glaswänden (Fig. 281) dient dazu, nachzuweisen, daß, wenn sie als offene gebraucht wird, in der Mitte ein Schwingungsknoten entsteht, dagegen in der gedeckten nicht, in dieser also die Luftsäule als Ganzes schwingt. An einem steifen Draht a b wird ein kleines Holzrähmchen c befestigt, über das an der Unterfläche Goldschlägerhaut gespannt wird. Streut man etwas Sand in das Rähmchen und führt dieses in die tönende Pfeife, so wird der Sand über und unter der Mitte in Bewegung gerathen, in der Mitte der Pfeife ruhen. Steckt man den Draht durch einen gelieberten Pfropf, wie die Figur zeigt, und diesen oben auf die Pfeife, so daß sie zur gedeckten wird, so bewegt sich der Sand in der ganzen Länge der Pfeife, wenn man das Rähmchen nach und nach hinunter schiebt.

An einer cubischen Labialpfeife zeigt man den Einfluß der Breite und Tiefe der Pfeife, indem durch ein dazu passendes, mit Leder überzogenes Brettchen die Pfeife einmal nach der Breite, dann auch nach der Tiefe getheilt werden kann.

Den Einfluß der Breite des Aufschnitts weist man an einer Pfeife nach, die seitwärts neben dem Aufschnitt mit kleinen, vorstehenden Bleiplättchen (Ohren) versehen ist, welche man mehr oder weniger zusammen oder auseinander biegen kann. Eben so bringt man am Ende einer offenen Pfeife seitwärts ein Bleiblatt an, das man mehr oder weniger über die Oeffnung biegt und die Pfeife so, je nach dem Betrage der Biegung, mehr oder weniger der gedeckten Pfeife nähert, d. h. den Ton vertieft.

Zur Erklärung der musikalischen Instrumente mit Seitenöffnungen verschaffe man sich eine Labialpfeife mit Seitenöffnungen, welche sich durch kleine Schiebeplättchen schließen lassen; letztere können sich entweder in Falzen bewegen, oder um eine Schraube, die man beliebig anziehen

kann, drehbar ſein. Um eine Oeffnung ſo wohl bei einem Knoten, als auch bei den Schwingungsbäuchen herſtellen zu können, laſſe man Oeffnungen in der Mitte und in jedem Viertel einer offenen Pfeife anbringen.

b. Die Zungenpfeife beſteht aus einem Rohr AB (Fig. 282), welches den tonerregenden Körper, das Mundſtück, aufnimmt, und einem darauf geſetzten Rohr CD, das, je nach ſeiner Form, dem Ton die Klangfarbe giebt. Mit dem Windrohr E wird das erſte auf die Windlade aufgeſetzt. Da wo ſich innerhalb das Mundſtück befindet, erhält das Rohr AB Fenſter, um das Schwingen der Zunge ſichtbar zu machen. Das aufgeſetzte Rohr CD kann aus Holz oder Pappe beſtehen. Die Zungenpfeifen unterſcheiden ſich nun je nach der Art des Mundſtücks in ſolche mit aufſchlagender und andere mit einſchlagender Zunge. Das Mundſtück für die Pfeife (Fig. 282) ſtellt Fig. 283) vor. In den Klotz abc iſt die Metallrinne r eingeſetzt; ſie reicht bis an die Oeffnung s. Die Rinne iſt an ihrer offenen Seite durch ein Metallblatt p gedeckt, welches da, wo ſie im Holze ſteckt, durch einen Keil feſtgeklemmt wird, während der ſichtbare Theil p frei bleibt. Dies iſt der eigentlich tonerregende Körper, die Zunge. Um den freien Theil der Zunge länger oder kürzer zu machen, d. h. den Ton zu erniedrigen oder zu erhöhen, dient die Krücke, ein Metallblatt k, welches mittelſt des Drahtes ef zurückgezogen oder vorgeſchoben werden kann. Da allemal nur der Theil der Zunge jenſeits der Krücke frei ſchwingen kann, ſo wird das Mundſtück durch die Krücke geſtimmt. Steckt man das Mundſtück mit dem Ende, wo die Zunge frei iſt, ſo in den Mund, daß die Lippen den freien Theil der Zunge nicht berühren, aber doch ringsum feſt an das Inſtrument anſchließen, und haucht Luft aus, ſo tönt das Mundſtück, indem die Zunge durch den Luftſtrom vom Rande des Canals abgedrängt wird, vermöge ihrer Elaſticität aber wieder in die vorige Lage zurückkehrt, bei fortgeſetztem Blaſen in eine ſchwingende Bewegung geräth und die Luft innerhalb des Canals ebenfalls zum Schwingen nöthigt; während die Zunge transverſal ſchwingt, macht die Luft Längenſchwingungen. Schlägt nun die Zunge auf die Ränder des Canals auf, wie in Fig. 283), ſo entſteht ein rauher, ſchnarrender Ton, der ſich mehr zu lärmenden Tonſtücken eignet. Setzt man dann noch ein langes kegelförmiges Rohr wie CD (Fig. 282) auf den Fuß AB auf, ſo erhält man jene Art Zungenpfeife,

Fig. 282.

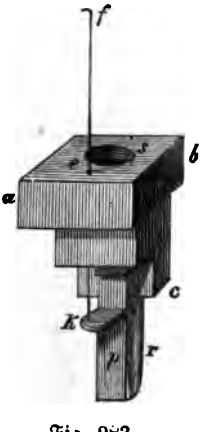


Fig. 283.

Fig. 284.

die Trompete heißt. — Auf dieser Art der Zungenpfeifen beruhen alle Arten Harmoniken, also auch das Harmonium, dann die Clarinette, das Oboe und Fagott.

Eine Zungenpfeife mit einschlagender Zunge stellt (Fig. 284) vor, wozu das Mundstück (Fig. 285) gehört. Auf den Fuß A B mit der Windröhre E ist der Holzkörper C D aufgesetzt, dessen innerer Hohlraum sich in der Mitte erweitert und oben bei D sich wieder zu einer engen Oeffnung verengt. Das Mundstück ist im Ganzen eben so gebaut wie das vorige, nur daß die Zunge p die Ränder des Canals nicht trifft; dieser ist mit einer Platte überdeckt, welche der Länge nach einen Ausschnitt hat; in diesen Ausschnitt schlägt die Zunge ein. Die Pfeife giebt einen sanfteren Ton, der sich mit der menschlichen Stimme vergleichen läßt; sie heißt deshalb vox humana.

7. Fortpflanzung des Schalles.

Um zunächst nachzuweisen, daß der Schall ein fortleitendes Mittel haben muß, um die Schwingungen einem Ohr wahrnehmbar zu machen, d. h. von einem Ort zum anderen fortgepflanzt zu werden, bediene ich mich eines Glasballons mit Hahn und einer zur Luftpumpe passenden Schraube (Fig. 286), hänge im Inneren an einigen ungedrehten Fäden eine kleine Klingel auf, schraube den Ballon auf die Pumpe und evacuire. Wenn das Barometer nur noch wenige Millimeter Druck anzeigt, schließe ich den Hahn, nehme den Ballon von der Pumpe und schüttle ihn so, daß der Klöppel der Klingel gegen die Wandungen derselben schlagen muß. Man wird keinen Ton hören. Läßt man nun etwas Luft ins Innere des Ballons gelangen, indem man den Hahn ganz kurze Zeit öffnet, so wird man, beim abermaligen Schütteln, den Ton ganz leise hören, und je mehr Luft man zuläßt, desto vernehmbarer wird derselbe. Schraubt man jetzt den Ballon wieder auf die Pumpe, verdichtet die Luft darin und macht man, nachdem man den Hahn geschlossen und den Ballon von der Pumpe abgeschraubt, dieselben Versuche wie vorher bei verdünnter Luft, so hört man den Schall der Klingel auch viel vernehmlicher und lauter, als wenn nur Luft von der Dichtigkeit der äußeren darin ist.

Fig. 285.

Den entscheidenden Versuch über die Geschwindigkeit des Schalles wird man in dem engen Kreis der Schule, oder wo sonst nicht außer-

ordentliche Mittel an Zeit und Geld zu Gebote stehen, nicht wohl anstellen können. Es ist bekannt, daß man eine Strecke von wenigstens einer halben Meile genau abmessen muß; dies wird immer nur möglich werden dadurch, daß man eine kleinere Basis direct mißt und die Länge der abgesteckten Strecke durch Triangulation ermittelt. Diese ausgedehnte, viel Zeit in Anspruch nehmende Arbeit wird wohl zu einer wissenschaftlichen Bestimmung der Schallgeschwindigkeit, aber niemals zum Zwecke des Unterrichts unternommen werden. Wir können uns daher hier auch der Beschreibung des weiteren Verfahrens überheben. Aber Eines in Bezug auf die Fortpflanzung des Schalles ist auszuführen möglich und sogar sehr lehrreich, nämlich ein Versuch, der den Einfluß der Temperatur der Luft auf die Schallgeschwindigkeit ausübt. Man nehme eine gedeckte Orgelpfeife, sie habe die Länge l; ist die Schwingungszahl des Tones dieser Pfeife, wenn sie ohne Knoten schwingt, = n und bezeichnet c die Schallgeschwindigkeit, so ist $c = nl$.

Man blase nun diese Pfeife bei 0°C an und bestimme den Ton, den sie giebt; dann blase man sie auch bei einer höheren Temperatur an, z. B. bei 20°C und bestimme gleichfalls den Ton; ist der Ton, etwa nach dem Monochord, richtig bestimmt, so wird man in beiden Fällen leicht die Schwingungszahl berechnen; man hat also dann die zwei Gleichungen

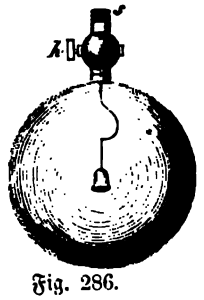


Fig. 286.

$$c = 4\,nl \text{ für } 0°,$$
$$\text{und } c' = 4n'l \text{ für } 20°,$$
$$\text{also } c : c' = n : n',$$

d. h. die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten bei diesen zwei Temperaturen verhalten sich wie die Schwingungszahlen. Die Geschwindigkeit bei 0° ist nun erfahrungsmäßig = 333 m; berechnet man dann die Geschwindigkeit bei 20° aus der obigen Proportion

$$c' = c.\frac{n'}{n}$$

und auch nach der Formel

$$c' = 333.\sqrt{1 + 0{,}00365.\,t},$$

so wird sich zeigen, daß beide Resultate fast genau übereinstimmen. Man braucht übrigens aus den beiden Tönen nur die relativen Schwingungszahlen in Bezug auf ein und denselben Grundton statt n und n' zu suchen, nicht einmal die absoluten. Um die Töne bei so verschiedenen Temperaturen zu bekommen, muß man den Versuch im Winter, einmal im Freien, das anderemal in einer geheizten Stube anstellen.

Fast auf dieselbe Weise findet man die Schallgeschwindigkeit in festen Körpern. Der Uebereinstimmung in der Schwingungsweise wegen nehmen wir hiezu eine offene Orgelpfeife, die bei der einfachsten Schwingung mit einem Schwingungsknoten in der Mitte schwingt. Sie habe die Länge l und gebe beim Anblasen einen Ton, dessen

relative Schwingungszahl in Bezug zu einem bestimmten Grundton = n gefunden wird; dann nehme man einen Stab des zu untersuchenden Körpers von derselben Länge l und versetze diesen in die einfachste longitudinale Schwingungsart, d. h. man halte ihn in der Mitte, lasse beide Enden frei und streiche die eine Hälfte der Länge nach. Von dem so erzeugten Tone berechne man die relative Schwingungszahl in Bezug auf denselben Grundton, so ist für die Pfeife $c = 2\,nl$, für den Stab $c' = 2\,n'l$, also $c : c' = n : n'$; nun ist c (für die Luft) = 333 m, also $c' = 333 . \frac{n'}{n}$ m, Falls der Versuch bei 0° angestellt ist; sonst muß c für die bestehende Temperatur berechnet werden.

8. Bestimmung der absoluten Schwingungszahl.

a. Nach Chladni durch einen schwingenden Stab. Man spannt einen langen, aber nicht sehr dicken Stab aus einem elastischen Metall mit dem einen Ende in einen Schraubstock, versetzt ihn in transversale Schwingungen, zählt die Schwingungen, die der Stab in einer genau beobachteten Zeit macht, und berechnet die Zahl derselben in einer Secunde. Man mißt nun den freischwingenden Theil des Stabes, verkürzt dann das freie Ende so weit, daß es, mit einem Violinbogen gestrichen, einen Ton giebt, bestimmt den Ton und mißt das freie Stabende. Sind l und l' die Längen der schwingenden Theile des Stabes, n' n' die betreffenden Schwingungszahlen in einer Secunde, so ist $n : n' = l'^2 : l^2$, oder $n' = n . \frac{l^2}{l'^2}$. Kennt man aber die Schwingungszahl eines Tones, so kann man mittelst der relativen Schwingungszahlen die aller anderen Töne finden.

b. Mittelst des Gesetzes $n = \frac{c}{4l}$ kann man durch eine gedeckte Orgelpfeife ebenfalls die absolute Schwingungszahl bestimmen, wenn man den Körper der Pfeife genau gemessen hat, für c die Geschwindigkeit des Schalles setzt, und den Ton seiner Höhe nach bestimmt.

c. Endlich erreicht man dasselbe durch die Sirene von Cagnard Latous (Fig. 287). Diese besteht aus der Windröhre AB und der Trommel CDEF; erstere dient dazu, das Instrument auf ein Loch der Windlade zu stecken; letztere ist ein hohler, cylindrischer Körper von Messing, der aber durch eine feste Platte gedeckt ist. Im Umfange dieser Platte sind etwa 20 Löcher, die unter 45° gegen die Ebene der Platte gebohrt sind, aber senkrecht auf dem zugehörigen Radius stehen. Durch das Centrum der Platte ist von Unten nach Oben eine Stahlschraube geführt, die am Ende zum Zapfenlager gebohrt ist. Auf ihr ruht die stählerne Spitze der verticalen Achse b, welche durch eine fest damit verbundene Messingplatte geht, in der sich ebenfalls 20 Löcher am Umfange befinden, die aber eine entgegengesetzte Lage von den vorigen haben, also senkrecht zu denselben stehen, wie (Fig. 288) mon zeigt.

Die Achſe b hat eine Führung in dem Kopfſtück des Rahmens EFGH. Iſt die Sirene auf die Windlade geſetzt und nimmt durch die Röhre AB den Wind auf, ſo ſtrömt dieſer durch die Oeffnungen no der unteren Platte, ſtößt ſenkrecht gegen die Wände der oberen Oeffnungen om an, wirkt alſo mit ſeiner vollen Kraft dahin, die obere Platte im Kreiſe herum zu drehen. Wenn aber die obere Platte ſich über der unteren, feſten dreht, werden die Löcher der oberen einmal auf die der unteren und dann wieder auf die Zwiſchenräume treffen; der Wind wird abwechſelnd frei durchſtrömen können und am Durchſtrömen gehemmt ſein. Dadurch entſtehen Stöße, welche, wenn ſie ſchnell genug auf einander folgen, einen Ton erzeugen. Die Anzahl dieſer Stöße in einer Secunde iſt gleich der Zahl der Umdrehungen der Scheibe in dieſer Zeit multiplicirt mit der Zahl der Löcher. Es vernothwendigt ſich alſo, die Zahl der Umdrehungen der rotirenden Platte zu beſtimmen. Zu dieſem Zwecke trägt die Achſe b am oberen Ende einige Schraubengänge, welche in die hundert Zähne des Rades R eingreifen; bei einer Umdrehung der Lochſcheibe rückt das Rad um einen Zahn; nach einer vollen Umdrehung des Rades R hat ſich alſo die Lochſcheibe 100 Mal herumgedreht. Auf dem Rade R und ſenkrecht zu ſeiner Ebene ſtehen 10 Stifte, welche in die 10 Zähne des Rades F eingreifen; das Rad T dreht ſich alſo gerade ſo ſchnell wie das Rad R; das Rad F hat einen auf ſeiner Ebene ſenkrechten Stift, der wieder in die 50 Zähne des Rades S eingreift; das Rad S dreht ſich alſo um einen Zahn ($^1/_{50}$), wenn das Rad F (oder R) ſich einmal ganz herumgedreht hat. Eine Umdrehung des Rades S entſpricht alſo 100 . 50 oder 5000 Umdrehungen der Lochſcheibe, oder 20 . 5000 = 100000 Stößen oder Doppelſchwingungen. An den Achſen der Räder R und S ſind Zeiger angebracht, die über Zifferblätter laufen, (Fig. 289) von denen jedes in ſo viel Theile getheilt iſt, als das betreffende Rad Zähne hat. Jeder Theil des Zifferblattes S zählt alſo die Hunderte, jeder Theil von R die einzelnen Umdrehungen; mit 20 multiplicirt geben die ſo geleſenen Angaben der Zifferblätter die Doppelſchwingungen des Tones. Damit aber dieſe Zählung einen Werth habe, muß der Ton während des

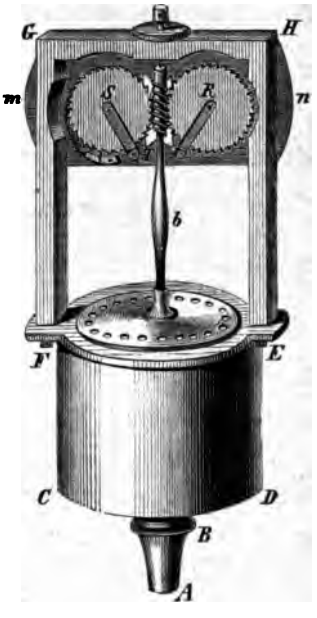


Fig. 287.

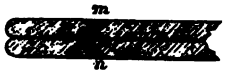


Fig. 288.

Versuches immer dieselbe Höhe behalten; das erzielt man, wenn die Windlade des Gebläses eine hinreichende Größe hat und das Gebläse mit vollkommener Regelmäßigkeit getreten wird. Anfangs aber bewegt sich die Lochscheibe nur langsam, der Ton ist niedrig; je länger der Wind zur Trommel zugeströmt ist, desto schneller bewegt sich die Scheibe, desto höher wird der Ton, bis er, bei regelmäßigem Treten, stationär geworden ist. Deswegen ist die Platte, auf welcher das Räderwerk sitzt, verschiebbar gemacht, d. h. durch einen Druck auf den Rand m der Hinterplatte des Zählerwerks verschiebt sich die Platte so, daß das Zahnrad R sich von den Schraubengängen der Achse b entfernt und die Zähne aus den Gängen herausgehoben werden, die Lochscheibe also läuft, ohne daß das Zählerwerk Theil an der Bewegung nimmt. Ein Druck auf die Seite n schaltet das Zählerwerk in die Bewegung ein. Um diese Bewegung der Platte und damit der Räder R, S und T zu ermöglichen, sind die Schraubenlöcher dieser Platte oval gebohrt. Zur Anstellung des Versuchs bedarf man noch eines Zeitmessers, entweder einer richtig gehenden Secundenuhr oder eines Secundenpendels; letzteres muß dann

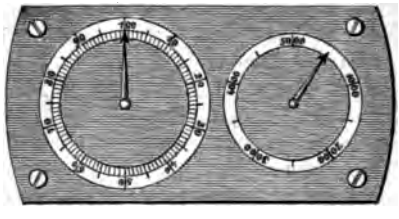


Fig. 289.

aber auch richtige Secunden schlagen, also vor Anfang des Versuchs nach einer Secundenuhr geprüft und nöthigen Falls darnach corrigirt werden, indem man die Linse an der Stange erhöht oder tiefer senkt.

Soll nun ein Versuch gemacht werden, so löse man das Zählerwerk der auf das Gebläse gesetzten Sirene aus, versetze durch zuströmenden Wind die Lochscheibe in Drehung bis sie einen sich gleichbleibenden Ton giebt; unterdessen bereite man den Zeitmesser vor; ist dieser eine Secundenuhr, so halte sich der, welcher die Zeit zu beobachten hat, bereit, den Anfang des eigentlichen Versuchs, d. h. der Zeit, während welcher die Secunden gezählt werden sollen, in dem Augenblick, wo er ein Zeichen von demjenigen, welcher die Sirene besorgt, bekommt, nach der Secunde genau zu merken; bedient man sich eines Pendels, so richte man dieses auf hörbare Schläge ein und setze es in Gang. Wenn an der Sirene ein stationärer Ton eingetreten ist, so schalte man das Zählerwerk gleichzeitig mit einem Pendelschlage ein und zähle Null. Die Zeiger an den Zifferblättern der Sirene sollten vorher beide auf Null gestellt werden, oder aber man liest ihren Stand ab und schreibt ihn auf. Von dem Moment an, da das

Zählerwerk eingeſchaltet worden, zählt man am Pendel die Secunden, oder merkt ſich die Zeit nach der Secundenuhr, ſorgt für ein gleichmäßiges Arbeiten des Gebläſes und läßt die Sirene eine oder einige Minuten bei unverändertem Tone gehen; endlich ſchaltet man das Zählerwerk aus und in demſelben Moment beobachtet man die Zeit nach der Uhr oder merkt ſich die Numer des letzten Pendelſchlags auf, berechnet im erſten Fall die Zeitdauer zwiſchen dem Ein- und Ausſchalten, und lieſt von den Sirenenſcheiben den Stand der Zeiger ab. Haben ſie Anfangs nicht auf Null geſtanden, ſo muß man die Zahl der Umdrehungen durch Subtraction der erſten Ableſung von der zweiten berechnen, wobei zu beachten, daß jeder Strich der Scheibe S 100 Striche der Scheibe R bedeutet. Die ſo ermittelte Zahl, in Strichen der Scheibe R ausgedrückt, iſt noch mit der Zahl der Löcher in der Lochſcheibe zu multipliciren; dieſe Zahl giebt die Doppelſchwingungen (Stöße) während der Dauer des Verſuchs; dividirt man ſie alſo durch die Zahl der Secunden dieſer Dauer, ſo erhält man die Zahl der Doppelſchwingungen während einer Secunde für den Ton der Sirene; Man hat endlich noch den Ton nach der Tonleiter zu beſtimmen, was am einfachſten nach dem Monochord geſchieht, und auch vor Beginn des Verſuchs geſchehen kann; es iſt ſogar beſſer, dies vorher zu thun: denn nicht immer ſtimmt der Sirenenton genau mit einem Ton der Tonleiter überein; dann muß man den Blaſebalg etwas mehr beſchweren, die Luft ſtrömt dann ſchneller in die Windlade, verdichtet ſich darin etwas mehr und ſtrömt mit größerer Geſchwindigkeit in die Sirene: die Lochſcheibe dreht ſich ſchneller, der Ton erhöht ſich; durch Ausprobiren wird man es dahin bringen, den Ton der Sirene uniſon mit irgend einem angebbaren Ton des Monochords zu machen. Beſtimmt man für dieſen nach der oben gegebenen Vorſchrift die Schwingungszahl, ſo kann man nach den relativen Tonverhältniſſen alle anderen Töne aus dieſer einzigen Beſtimmungszahl berechnen.

d. Eine einfachere Sirene, die ſogenannte Lochſirene hat Seebeck d. J. angegeben. Auf eine runde Holzſcheibe von 1,5 $^{dm.}$ Durchmeſſer wird eine Pappſcheibe von 2,5 $^{dm.}$ Durchmeſſer befeſtigt (Fig. 290). Am Umfange werden in gleichen Diſtanzen von 5 $^{mm.}$ mit einem Locheiſen Löcher von 4 $^{mm.}$ Durchmeſſer eingeſchlagen. Die Holzplatte wird mittelſt einer im Centrum angebrachten Schraube von Meſſing auf die Centrifugalmaſchine aufgeſetzt. Während die Lochſcheibe in gleichmäßige Drehung verſetzt wird, bläſt man durch ein Rohr ab, deſſen Mündung etwas enger als die Löcher iſt, Luft gegen den Kreis, in welchen die Löcher geſchlagen ſind. Der Ton entſteht dann eben ſo, wie bei der Sirene von Cagnard Latour. Man kann den Verſuch noch bequemer einrichten, wenn man das Rohr in einer an einem Stativ befeſtigten Korkklemme einſpannt, mit der Mündung auf die Lochreihe richtet, dann durch einen Gummiſchlauch die andere Oeffnung des Röhrchens mit der Windlade verbindet. Letzteres geſchieht mittelſt eines durchbohrten Holzpfropfens, deſſen eines Ende in ein Loch der

Windlade gesteckt wird, während man über das andere den Gummischlauch überzieht. Es ist zweckmäßig, dem Rohr die Form eines gewöhnlichen Blaserohrs zu geben, weil sich dann der Schlauch besser anbringen läßt ohne scharfe Knicke zu bekommen, da der Luftstrom immer in verticaler Richtung auf die Scheibe treffen muß. Die Berechnung der Schwingungszahl ist hier nicht so zuverlässig wie bei der anderen Sirene. Aus dem Verhältniß des Durchmessers der Drehachse der Schwungmaschine zum Durchmesser des (mit der Hand gedrehten) Schwungrades derselben erfährt man, wie oft sich die Lochscheibe umdreht, während das Schwungrad einmal herumgeht; um Regelmäßigkeit in die Bewegung zu bringen, muß man sich darauf einüben, das Schwungrad in einer Secunde eine bestimmte und immer gleiche An-

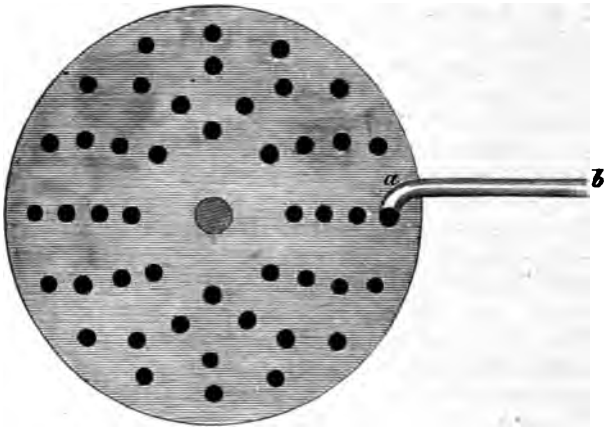


Fig. 290.

zahl Male herumzudrehen; ist dies erreicht, so ist die weitere Berechnung nach dem Vorigen sehr leicht. Eine Abweichung in der Geschwindigkeit giebt sich sofort durch eine Aenderung des Tones zu erkennen.

Man kann in die Pappscheibe mehrere Lochreihen schlagen; sie werden dann in concentrischen Kreisen geordnet; die äußerste erhält 16, die nach Innen folgenden Reihen, 12, 10 und 8 Löcher, wie (Fig. 290). Faßt man das durch die Windlade angeblasene Rohr mit der Hand, so kann man bald die eine, bald die andere Reihe zum Tönen bringen; die angegebenen Löcherzahlen geben von Innen nach Außen hin die Terz, Quint und Octave zum Grundtone der innersten Reihe.

9. Interferenz des Schalles.

a. Hopkins' Interferenzröhre. ABCD (Fig. 291) ist eine Röhre von Holz, welche sich bei B in zwei Schenkel BC und BD theilt; die Enden C und D sind offen, über A ist ein Stück Goldschlägerhaut gespannt. Die Röhre wird in die mit Leder gefütterten Backen einer Klemme K gespannt und festgeschraubt; die Klemme kann am Stativ höher und niedriger gestellt werden. Die beiden Schenkel der Röhre werden so über eine Platte (Klangscheibe) gestellt, daß, wenn diese ins Tönen gebracht wird, entweder beide Schenkel über Flächenstücken stehen, welche gleichzeitig nach derselben Richtung schwingen, oder über zwei Flächen, welche gleichzeitig nach entgegengesetzten Richtungen schwingen. Wenn die Röhre ihre richtige Lage in der einen oder anderen Weise erhalten hat, streut man Sand auf das Goldschlägerhäutchen A und streicht die Platte so, daß eine Figur entsteht, welche der einen Forderung in Bezug auf die Interferenzröhre genügt. Schwingen die Plattentheile unter den Schenkeln der Röhre beide nach derselben Seite, so bewegt sich der Sand auf der Membran lebhaft. Durch eine kleine Aenderung bringt man die Schenkel der Röhre über Plattentheile, welche gleichzeitig entgegengesetzt schwingen und bemerkt dann, daß der Sand vollkommen ruhig bleibt, daß also die durch den einen Schenkel erzeugte Schwingung die im anderen aufhebt. Beim diagonalen Kreuz einer quadratischen Scheibe z. B. liefern zwei in Nebenwinkeln liegende Theile den letzteren Fall, zwei in den Scheitelwinkeln liegende den ersteren.

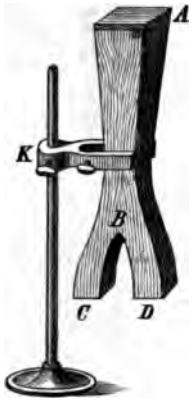


Fig. 291.

b. Mit der Stimmgabel. Dreht man eine tönende Stimmgabel vor dem Ohr um ihre Achse, so verschwindet der Ton bei einer Umdrehung viermal und erscheint eben so oft wieder. Dreht man die Stimmgabel über einem Glase, das denselben Ton giebt wie diese, oder durch Eingießen von Wasser auf denselben Ton gebracht ist, so bekommt man dieselbe Erscheinung.

c. Mit Seebeck's Lochsirene läßt sich die Interferenz auch zeigen, wenn man gleichzeitig mittelst zweier Schläuche Luftströme durch zwei Röhren aus dem Gebläse auf Löcher derselben Reihe leitet, welche eine entgegengesetzte Lage haben, oder doch den einander entgegengesetzten nächst anliegen. Verschiedene andere Interferenzversuche lassen sich namentlich auch mit zwei Lochreihen anstellen, die wir hier aber übergehen.

10. Reflexion des Schalles.

Jedes Echo ist ein Beweis der Reflexion des Schalles, namentlich für senkrechtes Auffallen; aber auch ein schiefauffallender Laut wird unter gleichem Winkel zurückgeworfen, wie man sich im Freien an verschiedenen Orten überzeugen kann. Der interessanteste Versuch aber ist wohl der mit zwei Hohlspiegeln. Die Spiegel müssen hiezu etwas groß sein; sie bekommen dann freilich sphärische Abweichung, die aber hiebei lange nicht den Nachtheil bringt wie bei Lichtversuchen; ich habe solche Spiegel von 53 cm. Oeffnung und 24 cm. Brennweite (Fig. 292). Die Spiegel stecken auf festen, gußeisernen Stativen S,S', sind selbst

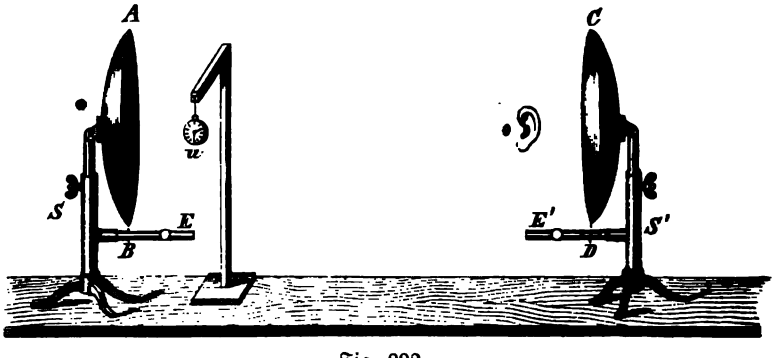


Fig. 292.

aus starkem Messingblech getrieben. Die Stative tragen zugleich Halter E,E', um die Gegenstände, die man im Brennpunkte anbringen will, aufzunehmen; zu unserem hier in Betracht kommenden Versuche sind sie zwar nicht nöthig, da aber dieselben Spiegel auch bei den Wärmeversuchen gebraucht werden, so sind sie mit aufgenommen; in einigen Fällen bediene ich mich der oben S. 24 beschriebenen Gasständer zu gleichem Zwecke. Um die Spiegel in die richtige Lage zu einander zu bringen, so daß nämlich die Achsen derselben in eine gerade Linie fallen, ziehe ich auf einem 5—6 m. langen Tisch mit Kreide eine gerade Linie von einem Ende zum anderen, d. h. ich strecke eine mit Kreide bestrichene Schnur längs des Tisches aus, lasse sie straff anspannen, hebe sie in der Mitte auf und lasse sie von selbst niederschnellen, so zeichnet sich die Linie ab. Auf diese Linie stelle ich beide Spiegel einander gegenüber, zuerst nur etwa in 3 m. Abstand. Durch Ablothen bringe ich die Mitten der Spiegel vertical über die Linie und die Spiegelränder in verticale Lage. Um die Ebene der Spiegelränder senkrecht gegen die auf dem Tisch gezogene Linie zu bekommen benutze ich gewöhnlich das optische Bild einer Flamme, die ich in den einen Brennpunkt setze, und die dann ein Bild im Brennpunkt des anderen Spiegels geben muß, das man durch irgend eine kleine Fläche, welche

dort aufgeſtellt wird, auffängt. Deutliche Bilder können dieſe Spiegel nicht geben, da ſie nicht geſchliffen ſind; das ſchadet hier aber nicht, da man ſich blos nach dem Lichtſchein zu richten braucht. Wenn die Spiegel die richtige Aufſtellung bekommen haben, und von dieſer hängt das Gelingen aller Verſuche ab, hänge ich eine ſehr leiſe ſchlagende Cylinderuhr u in den Brennpunkt des einen, (es ermöglicht ſich die richtige Anbringung der Uhr am leichteſten mittelſt eines Gasſtänders) und halte das Ohr o in den Brennpunkt des anderen. Sofort höre ich das Ticken der Uhr ſehr vernehmlich, während es in gleicher Entfernung nach irgend einer anderen Richtung nicht zu hören iſt. Entfernt man dann die Spiegel auf 4, 5 oder 6 m. von einander und ſorgt jedesmal für eine in jeder Beziehung richtige Aufſtellung, ſo wird derſelbe Verſuch auch in ſolcher größeren Entfernung der Spiegel vollkommen gelingen. Es iſt namentlich bei dieſen Verſuchen ſehr auffällig, daß man das Ticken der Uhr deutlich von der Seite des Spiegels herkommen hört, in deſſen Brennpunkt man das Ohr hält, alſo gerade entgegengeſetzt der Richtung, in welcher ſich die Uhr befindet.

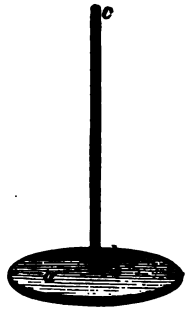


Fig. 293.

11. Mittheilung der Schwingungen.

Der urſprünglichſte Verſuch wird mit dem Monochord angeſtellt. Man ſpanne zwei Saiten ſo auf, daß ſie uniſon klingen, lege auf die eine papierne Reiterchen und ſtreiche die andere, ſo werden ſich die Reiterchen auf der erſten lebhaft bewegen und zum Theil herunterfallen.

Man ſchlage eine Stimmgabel an und ſetze ſie mit dem Griff oder Fuß auf einen Reſonanzboden, oder auch nur auf einen hohlen Kaſten mit dünnem, elaſtiſchem Deckel, ſo klingt ſie lauter, weil die im Kaſten enthaltene Luft mitſchwingt. Auch der Stimmgabelapparat (Fig. 273, S. 265) bietet ein Beiſpiel von der Mittheilung der Schwingungen dar; vom Reſonanzboden gehen die Schwingungen auf die Luft unter demſelben über, wie bei allen muſikaliſchen Inſtrumenten mit Reſonanzböden.

Auf eine dünne, kreisförmige Scheibe (Fig 293) a von Tannenholz mit recht gleichförmigem Gefüge befeſtige man im Mittelpunkt einen dünnen Stab b c von Holz, Glas oder Metall reibe dieſen der Länge nach, ſo daß er einen Longitudinalton erzeugt, ſo geräth die Scheibe in transverſale Schwingungen: denn wenn man Sand aufſtreut, ſo bildet ſich eine aus concentriſchen Kreiſen beſtehende Klangfigur.

Auf einem Fußbrett A B (Fig. 294) bringe man am einen Ende einen maſſiven Körper A ſo an, daß er (durch Leimen) feſt mit dem Brett zuſammenhängt, füge in dieſen Körper ein dünnes tannenes Brettchen C, etwa halb ſo lang als das Fußbrett, befeſtige an das

freie Ende dieses Brettchens eine Saite, deren anderes Ende über einen Steg D gezogen, an einem Wirbel befestigt und durch diesen gespannt wird. Man streue dann Sand auf das Brettchen C und streiche die Saite mit dem Bogen, so wird der Sand sich zu einer Figur ordnen;

Fig. 294.

Fig. 295.

diese wird je nach der Richtung des Bogenstrichs auch verschiedene Formen annehmen; allemal nämlich geschehen die Schwingungen des Brettchens in Richtungen, die der des Bogenstrichs parallel sind, wie man aus der Bewegung des Sandes erkennen kann.

Fig. 296.

Um zu zeigen, daß auch Luftschwingungen festen Körpern mitgetheilt werden, dient eine Labialpfeife (Fig. 295), bei welcher zwei Seitenwände, nämlich diejenige mit dem Aufschnitt und die ihr gegenüberliegende, aus Pergamentblättern bestehen. Das Windrohr a wird in einen Körper b gesteckt, der selbst wieder mit einem Windrohr c versehen ist, um damit auf die Windlade gesteckt zu werden. Die Pfeife erhält so eine horizontale Lage; streut man Sand auf die obere Pergamentwand und bringt die Pfeife ins Tönen, so ordnet sich der Sand in bestimmte Figuren. Beim Versuche wird man die Pfeife bei d mit einem Finger unterstützen müssen.

Wir können hier auch noch des Sprachrohrs erwähnen. Es besteht aus einem kegelförmigen Rohr A B (Fig. 296), dessen Rand an der engeren Oeffnung bei A etwas ausgeschweift ist, um es damit an den Mund anzulegen. Der Stoff, woraus es gemacht wird, ist gleichgültig; es kann daher aus Pappe oder Weißblech gefertigt werden. Die Größe des Sprachrohrs ist sehr

verschieden; man hat deren von 0, 5 m, bis zu 7 m. Länge: für Schulzwecke dürfte ein Rohr von 1 m. Länge ausreichen. Was die Form anlangt, so ist man darüber auch heute noch nicht einig. Es kommt natürlich wesentlich darauf an, daß die erregten Schallwellen, wenn sie aus dem Rohr heraustreten, möglichst weit ohne Erweiterung fortgehen. Ich habe mir aus Weißblech ein Sprachrohr machen lassen, dessen kleinere Oeffnung 6,5 cm, größere Oeffnung 30 cm, die Länge 60 cm beträgt. Wenn ich eine leise schlagende Cylinderuhr an die engere Oeffnung halte, so kann man das Ticken durch zwei Zimmer hindurch bis in's dritte Zimmer hinein hören. Ich habe es früher auch bei geodätischen Messungen zu Signalen im Freien gebraucht und es auf große Entfernungen anwendbar gefunden. Es kommt natürlich darauf an, ob man Worte verständlich machen, oder nur unartikulirte Rufe hörbar machen will; für letztere sind die Entfernungen viel größer.

XI. Das Licht.

1. Verbreitung des Lichtes.

Die dunkle Kammer stellt man durch eine kleine Oeffnung in der Fensterlade des verdunkelten Zimmers her. Eine Oeffnung ist in der Lade bereits vorhanden, um den Heliostat einzusetzen; sie ist aber für den vorliegenden Zweck zu groß; man schlage daher mit dem Locheisen in eine Pappscheibe ein Loch von 1—1½ cm Durchmesser und

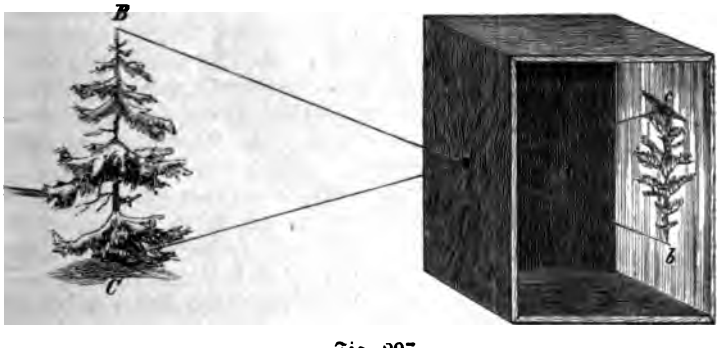


Fig. 297.

befestige sie mit ein paar Drahtstiften an der Lade über der Heliostatöffnung. Zum Versuche wähle man eine Zeit wo die außerhalb des Zimmers befindlichen Gegenstände auf der dem Fenster zugekehrten Seite von der Sonne beschienen werden, die Sonne also auf der anderen Seite des Hauses steht. Es entstehen dann an der Rückwand des Zimmers und an der Decke scharfe Bilder der erleuchteten Gegenstände in umgekehrter Lage wie (Fig. 297), wo A das Zimmer mit Weg-

lassung einer Seitenwand, O die Oeffnung, B C den erleuchteten Gegenstand außerhalb vorstellt; bc ist dann das umgekehrte, verkleinerte Bild auf der Rückwand des Zimmers. Um zu zeigen, daß die Form der Oeffnung keinen Einfluß auf die Gestalt der Bilder übt, schlage man mit dem Stechbeutel in ein anderes Pappstück ein Loch von anderer Form, z. B. ein Dreieck, Viereck ꝛc. und verfahre damit eben so. Man kann den Versuch im Kleinen mit einer Karte, in die man ein Loch gestochen hat, und einer Lichtflamme nachmachen, wenn man noch eine Karte dahinter aufstellt.

Das Gesetz der Entfernung in Bezug auf die Erleuchtung

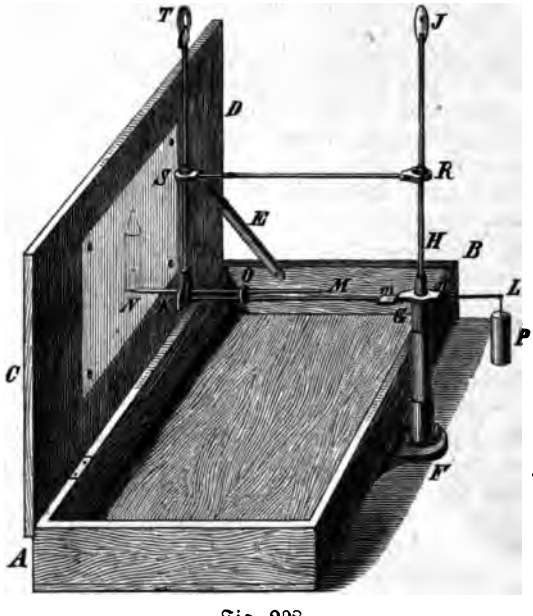


Fig. 298.

kann man in folgender Weise bewährt finden. Man wähle eine ganz feine Druckschrift und stelle sich damit im verdunkelten Zimmer in solche Entfernung von einem brennenden Stearinlichte, daß man die Schrift eben noch zu lesen vermag. Die Entfernung der Schrift von der Lichtflamme werde nun gemessen. Dann stelle man vier ganz gleiche Lichter in einer Reihe und dicht an einander auf und entferne sich mit der Schrift so weit davon, daß diese wieder gerade noch lesbar bleibt; mißt man dann auch den jetzigen Abstand von den Lichtern, so wird man finden, daß er nahezu doppelt so groß als der vorige ist; bei 9 Lichtern würde man den dreifachen Abstand bekommen, müßte aber die Lichter nicht in eine Reihe stellen, sondern enger zusammen gruppiren.

Auf der geradlinigen Verbreitung des Lichtes beruht eine Art Zeichenmaschine, mit welcher man Gegenstände perspectivisch aufnehmen kann, ohne die Regeln der Perspective zu kennen (Fig. 298). AB ist ein hölzerner Kasten, CD der Deckel dazu, der sich mittelst des Halterstabes E in verticaler Ebene feststellen läßt; es ist zweckmäßig, an der Seite C eben solchen Halter anzubringen. F ist eine kurze Verlängerung des Kastenbodens, in welche ein hölzernes, oben mit messingener Fassung G versehenes Säulchen eingeschraubt wird. In dieses Säulchen wird der Eisenstab HJ eingeschraubt, der oben eine Scheibe mit Diopter trägt. Bei R ist auf den Stab ein Ring aufgelöthet, an dem sich die Gabel des Stabes RS in zwei Schräubchen dreht; bei S umfaßt eben solche Gabel in derselben Weise den Stab KT. Am Ende T dieses Stabes ist ein Messingring aufgeschraubt; vom Rande des Ringes gehen nach dem Centrum hin zwei Spitzen, wovon die eine aus blau angelassenem Stahl, die andere aus weißem Elfenbein besteht; sie dienen dazu, das Centrum fest zu markiren. K ist wieder eine Gabel wie R und S; sie faßt mit zwei seitlichen Schräubchen einen auf der Stange GK aufgesetzten ovalen Messingkörper, dessen längere Achse von Unten nach Oben gerichtet ist; er ist über K durchbohrt und nimmt den Eisenstab MN auf, so daß dieser sich in der Bohrung und in einem zweiten solchen Messingkörper O, welcher, wie der erste, auf der Stange GK festsitzt, mit einiger Reibung parallel mit GK verschieben läßt. Vorn trägt der Stab MN eine Messinghülse, in welche ein Bleistift gesteckt wird. Der Stab GK ist in den länglichen Körper mn geschraubt, der sich gerade oberhalb des Säulchens G zu einem Ring erweitert, der wieder durch zwei Schräubchen drehbar mit der dort befindlichen Hülse des Stabes HJ verbunden ist. Das Parallelogramm GKSR läßt sich nun um eine gewisse Weite in der Verticalebene so verschieben, daß der Zeichenstift N höher und niedriger gerückt werden kann; überdies läßt sich der Stab HJ in der Fassung G in der Horizontalebene beliebig drehen, so daß der Zeichenstift N innerhalb des Bereiches der möglichen Bewegung jeden Punkt der Ebene des Deckels CD erreichen kann, wenn man nur den Zeichenstift, wo es nöthig ist, weiter herausstellt. Auf den Deckel CD wird mit Stiften das Zeichenpapier geheftet. Um den Stäben GK und MN das Gleichgewicht zu halten und die den Zeichenstift N führende Hand zu erleichtern, ist in den Körper mn rückwärts noch ein Stäbchen nL eingeschraubt, das sich bei L zu einem Ring gestaltet, an den das Gewicht P angehängt wird. Um einen Gegenstand hiemit perspectivisch zu zeichnen, stellt man den Apparat so, daß man den Gegenstand gerade vor sich hat, sieht mit einem Auge durch das Diopter J nach dem Centrum im Ringe T, hebt oder senkt und dreht die Stange HJ und damit sowohl das Diopter J als das Centrum T so, daß die Gesichtslinie gerade auf den Punkt trifft, dessen Bild auf dem Papier verzeichnet werden soll, markirt diesen Punkt und richtet die Gesichtslinie JT nach einem anderen Punkte, verzeichnet diesen wieder und fährt so mit beliebig vielen Punkten fort; die Punkte können

entweder sofort mit einander verbunden werden, während man durch das Diopter sieht, oder man führt dies nachgehends aus freier Hand aus. Allemal wird die so gezeichnete Figur dem Gegenstande ähnlich sein.

Dies ist leicht einzusehen. Denn stellt XX' (Fig 399) irgend eine Dimension, z. B. eine verticale Linie eines gesehenen Objects vor und bezeichnen die übrigen Buchstaben (ohne Striche) für den Punkt X dasselbe wie in der vor. Figur, die mit Strichen aber die entsprechenden Lagen dieser Punkte für eine zweite Lage X' des Punktes X, so ist:

$$XX' : TT' = JX : JT = JX : RS = JX : GK$$
$$\text{und} \quad TT' = SS' = KK'$$
$$XX' : KK' = JX : GK$$
$$KK' : NN' = GK : GN$$
$$XX' : NN' = JX : GN.$$

XX' stellt das Object, NN' die Zeichnung desselben dar; jede Linie der Zeichnung steht aber zu der entsprechenden des Objects in dem Verhältniß von JX : GN, wenn nur diejenigen Linien des Objects, welche aus der zur Zeichenebene parallelen Ebene heraustreten, auf diese projicirt gedacht werden. Der Apparat giebt also diejenige Zeichnung, die man bekommen würde, wenn die zwischen das Auge und das Object gestellte Zeichenebene eine durchsichtige Tafel wäre, auf welcher die Punkte fixirt würden, in welchen die vom Diopter J nach jedem Punkte geführten Gesichtslinien die Tafel träfen; diese Punkte aber geben eben die perspectivische Zeichnung des Gegenstandes.

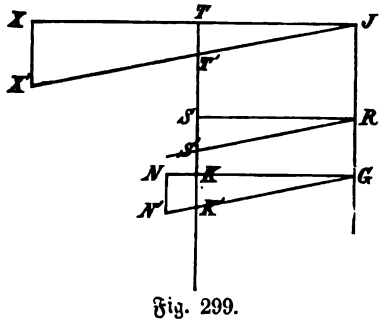


Fig. 299.

Instrumente dieser Art, so verschieden sie construirt sein mögen, nennt man Storchschnäbel. Die Erfindung des Storchschnabels wird dem Jesuiten Chr. Scheiner (1641) zugeschrieben. Das Zeichnen damit ist nicht ganz leicht, weil die Hand wegen mangelnder Stütze, bald ermüdet. Man erleichtert sich's, wenn man für eine Unterlage des Arms sorgt.

2. Photometer.

a. Das Rumford'sche Photometer (Fig. 300) besteht aus der Fußplatte AB, an deren einer Kante eine senkrechte, mit weißem Papier überzogene Wand CD errichtet ist; auf der Fußplatte AB steht auch der senkrechte Stab EF aus irgend einem undurchsichtigen Stoffe. Sind dann K und L zwei Lichtflammen, welche den Stab EF erleuchten, so wirft dieser beide Schatten auf die weiße Tafel CD, und man kann den Flammen eine solche Stellung geben, daß die Schatten nahe

an einander fallen und leicht mit einander verglichen werden können. Es sei k der Schatten, welcher das Licht K, l der Schatten, welchen L erzeugt. Jedes der Lichter erleuchtet die ganze Tafel CD, mit Ausnahme des Schattens, welchen es selbst hervorbringt; der Schatten k wird von L, der Schatten l von K erleuchtet; je heller das Licht L leuchtet, desto blasser wird der Schatten k; eben so verhält es sich mit l in Bezug auf das Licht K. Soll das Licht L mit dem Lichte K verglichen werden, so stelle man K in einige Entfernung vom Stabe EF hin und messe diese Entfernung; dann bringe man L in solche Lage, daß der Schatten l nahe an den Schatten k fällt; ist dann der Schatten k intensiver als der Schatten l, so leuchtet das Licht L weniger hell als K; um beide Schatten k und l gleich dunkel zu erhalten, muß man das Licht L näher heranbringen, während k an seiner

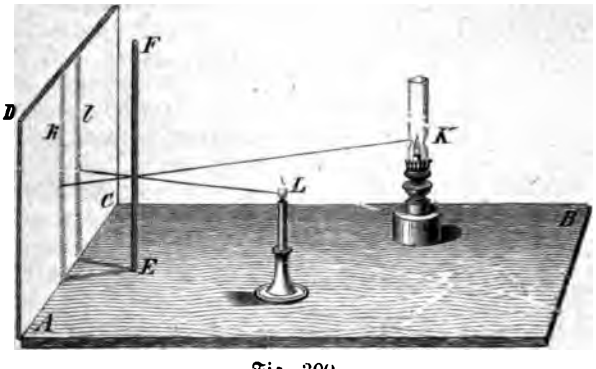


Fig. 300.

Stelle stehen bleibt. Wäre k weniger dunkel als l, so müßte man das Licht L weiter vom Stabe entfernen. Ist es endlich durch Verschieben gelungen, die beiden Schatten gleich dunkel zu erhalten, so messe man auch die Entfernung des Lichtes L vom Stabe EF und setze die Intensität der Lichter den Quadraten dieser Entfernung proportional. Bezeichnen K und L zugleich die Intensitäten dieser Lichter und sind m und n die bezüglichen Entfernungen, in welchen sie stehen müssen, damit die Schatten des Stabes EF gleich werden, so verhält sich:

$$K : L = m^2 : n^2,$$

da das stärkere Licht in größerer Entfernung dieselbe Erleuchtung hervorbringt wie das schwächere; also ist

$$L = \frac{n^2}{m^2} \cdot K.$$

b. Ritchie's Photometer. Dies ist ein rechtwinkliges Kästchen AB (Fig. 301) von Pappe; in zwei einander gegenüber stehenden Seitenwänden werden die Röhren C,D eingesetzt. Die Decke bildet ein Rahmen abcd, der mit dünnem Oelpapier bespannt ist; durch das

Querstäbchen ef ist diese durchsichtige Fläche in der Mitte in zwei Fächer getheilt. Das Innere des Kästchens, so wie der beiden Röhren C, D ist mit einem matten Schwarz angestrichen. An den zwei Wänden, wo keine Röhren sind, werden an die Innenflächen Stäbchen von Pappe (oder Holz) angeleimt, die wir in der Figur (außen) durch die punktirten Linien mo, no andeuten; die Stäbchen bilden mit einander rechte Winkel, sind also gegen die Decke unter 45° geneigt. Sie sind dazu bestimmt, zwei Blätter von weißem Zeichenpapier aufzunehmen, die, um gleiches Reflexionsvermögen zu haben, aus demselben Bogen geschnitten werden. Mit einem an den Boden befestigten Stiel wird das Instrument auf ein Stativ aufgesetzt. Stellt man es dann auf dem Stativ zwischen zwei Lichter, so daß diese gerade in die Höhe der Röhren C, D zu stehen kommen, also die Papierspiegel erleuchten, so wird das Licht von diesen letzteren senkrecht auf die durchsichtige Belegung der oberen

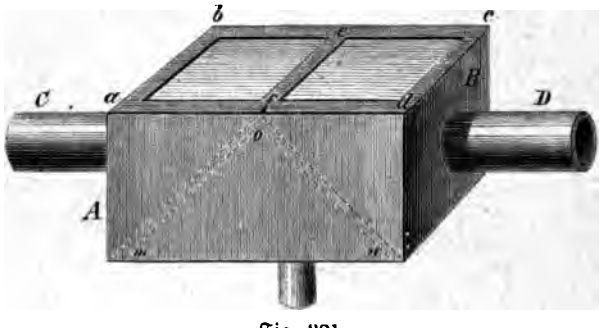


Fig. 301.

Fläche des Kästchens reflectirt. Um die Erleuchtung der beiden Flächentheile mit einander zu vergleichen, nimmt man ein etwa 10 cm. langes, inwendig geschwärztes Rohr von Pappe vor das Auge, um alles fremde Licht abzuhalten. Rückt man dann das eine Licht so lange, bis beide Seiten des Papiers denselben Eindruck von Helligkeit hervorrufen, so giebt das quadratische Verhältniß der Entfernungen der Lichter von der Mitte des Kästchens das Verhältniß der Lichtintensitäten der beiden Lichtquellen.

c. Bunsen's Photometer. Auf eine nach cm. getheilte prismatische Stange AB (Fig. 302), die vermittelst der Hülse d verschiebbar auf das Stativ ST aufgesetzt ist, aber durch die Schraube e auch festgestellt werden kann, werden drei andere Hülsen a, b, c aufgeschoben und durch die unten angebrachten Schrauben an geeigneten Stellen festgeschraubt: auf die beiden äußeren a und c setzt man die zu vergleichenden Lichter, auf die mittlere Hülse b ein kleines Stativ, welches einen mit weißem Papier bespannten Ring r trägt; in der Mitte wird das Papier durch Aufstreichen flüssigen Stearins durchscheinend gemacht. Bei dem Versuche wird entweder die Hülse mit dem

Papier oder das eine Licht so lange verschoben, bis der Stearinfleck von beiden Seiten gerade so hell erscheint wie das reine Papier. Das Verhältniß der Lichtintensitäten wird dann aus den Entfernungen wie bei den vorigen Photometern berechnet. Eine ganz gleiche Beleuchtung des reinen und des befetteten Papiers ist eigentlich nie vollständig zu erreichen, weil das reine Papier mehr Licht absorbirt als das fettige; man muß daher die Verschiebung so lange fortsetzen, bis eine weitere

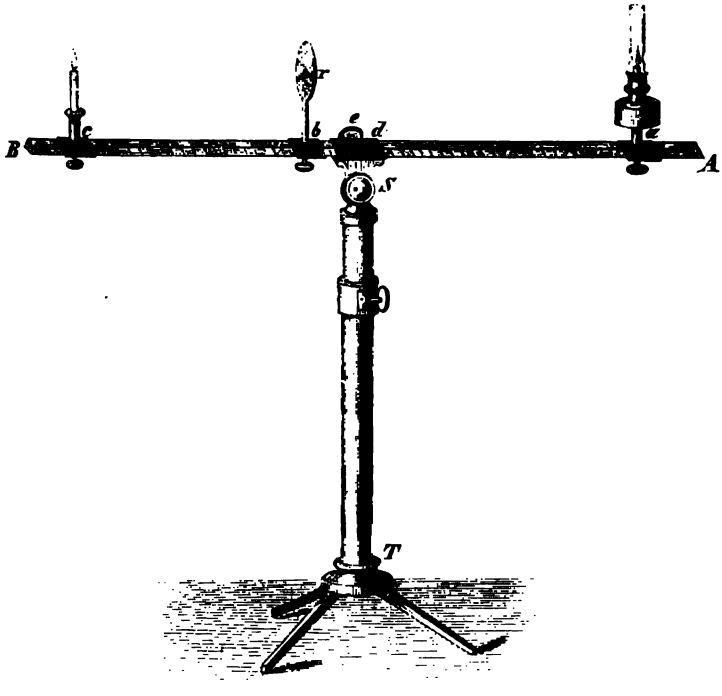


Fig. 302.

Verschiebung in demselben Sinn eine entgegengesetzte Wirkung hervorbringt. Das oben beschriebene Stativ ST mit der prismatischen Stange AB und den darauf passenden Hülsen, das häufig gebraucht wird, ist unter dem Namen des offenen Fernrohrs von Dove bekannt.

3. Der Heliostat.

Obgleich der Heliostat eigentlich auf der Reflexion beruht, weisen wir seiner Beschreibung doch schon hier eine Stelle an, da er zu vielen anderen Versuchen mit Vortheil gebraucht werden kann.

Der Heliostat bezweckt, ein Bündel directen Sonnenlichts in be-

stimmter Richtung, gewöhnlich horizontal, in das im Uebrigen verdunkelte Zimmer zu führen. Wir haben schon oben, Seite 12, die Einrichtung beschrieben, welche die Lade zu diesem Zwecke haben muß. An der Außenseite der Fensterlade bringt man einen ebenen Spiegel an, welcher die Sonnenstrahlen auffängt und in der verlangten Richtung durch die Oeffnung in der Lade ins Zimmer sendet. Der Apparat wird in (Fig. 303) von der einen, in (Fig 304) von der Rückseite dargestellt. Der Spiegel abcd und das Gelenk MN werden von Innen durch die Oeffnung in der Lade geschoben, die Platte ACB wird dann von Innen in den Löchern p, q mit Schrauben in der Lade befestigt. Da sich nun der Stand der Sonne in jedem Augenblicke

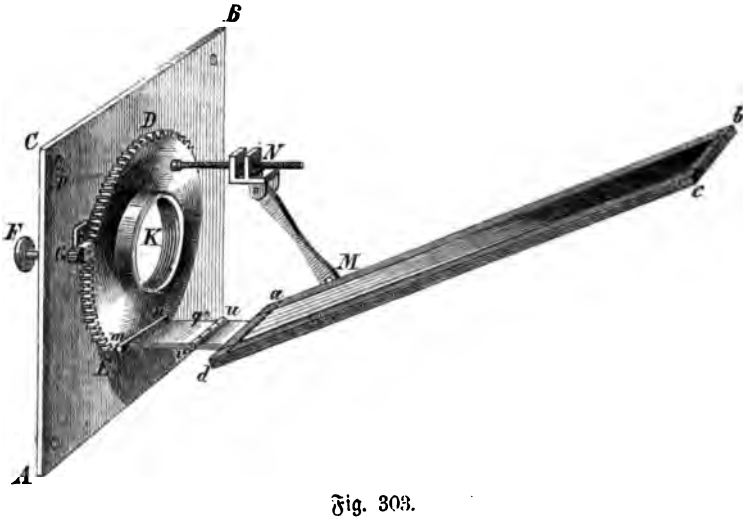


Fig. 303.

nach Höhe und Azimuth verändert, so würde, wenn der Spiegel seine Lage unverändert beibehielte, das in's Zimmer reflectirte Lichtbündel stetig seine Richtung verändern. Der Spiegel muß daher so eingerichtet werden, daß man ihn in zwei auf einander senkrechten Ebenen drehen kann, man muß seine Neigung gegen die verticale Ebene der Fensterlade beliebig verändern, und in jeder dieser Lagen ihn in einer mit der Lade parallelen Ebene, also um eine horizontale zur Lade senkrechte Achse drehen können. Das erste erreicht man dadurch, daß man an der einen Längsseite ab der messingenen Fassung abcd des Spiegels einen in M drehbaren Arm MN anbringt, der in N ein Gelenk hat, in das eine senkrecht gegen die Platte ACB gerichtete lange Schraube eingreift, welche von Innen beim Knopfe oder Griff N (Fig. 304) rechts und links gedreht werden kann. Die Oeffnung der Lade ist nur gerade so groß, daß der Spiegel mit diesem Arm nebst

Schraube von Innen nach Außen durchgesteckt werden kann. An der schmalen Seite ad ist der Spiegel in einem Gelenk uu mit einer auf der Platte ACB beweglichen Scheibe DE in Verbindung. Die Schraube N, welche in den Gelenkarm des Spiegels eingreift, verschiebt sich bei ihrer Drehung nicht nach der Länge, holt somit die Mutterschraube, d. h. das Gelenk N heran, oder entfernt sie von der Lade, je nachdem sie rechts oder links gedreht wird. Dadurch erhält der Spiegel verschiedene Neigungen gegen die Lade, wie dies die veränderlichen Sonnenhöhen nöthig machen.

Die zweite oder Azimuthalbewegung des Spiegels wird durch die auf die Platte ACB aufgesetzte Kreisscheibe DE bewirkt. Die Platte ACB, so wie die Scheibe DE haben in der Mitte die 4 cm. weite Oeffnung K; auf beide Platten sind um diese Oeffnung herum 1,1 cm. hohe Cylinder aufgesetzt, so jedoch, daß der Cylinder der Platte ACB

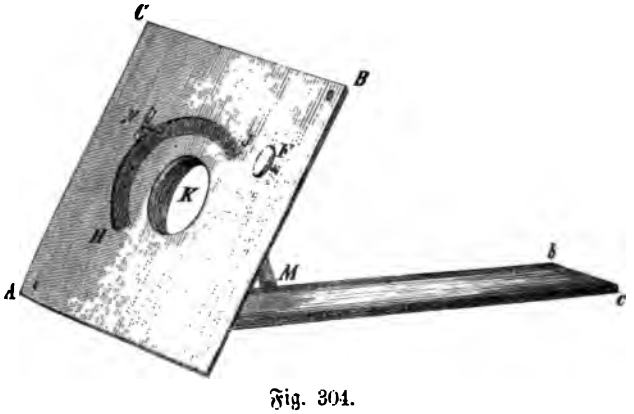


Fig. 304.

in den der Kreisscheibe DE genau hineinpaßt; dieser sich um jenen sanft herumdrehen läßt; um die Scheibe DE in ihrer Lage zu erhalten, faßt der Rand des Inneren zur Platte ACB gehörigen Cylinders über den des äußeren über. Die innere Wand der Oeffnung ist mit zwei Schraubengewinden versehen, das eine nach der Seite des Spiegels zu, das andere nach der entgegengesetzten Seite gerichtet; sie dienen dazu, Linsen, Blendungen ꝛc., auch das Sonnenmikroskop einzusetzen. Um nun die Kreisscheibe DE zu drehen, ist sie in der einen Hälfte ihres Umfanges gezahnt, und in diese Zähne greift ein kleines Trieb G ein, welches von der anderen Seite der Platte ACB mittelst des Knopfes F in Bewegung gesetzt wird. Da, wo auf der einen Seite die Zahnung der Scheibe DE aufhört, ist eine Messingplatte mn auf dieselbe aufgelöthet, die senkrecht zur Ebene der Scheibe steht; diese trägt an ihrer oberen Kante das Charnier uu, in welchem sich der Spiegel bewegt, um seine Neigung gegen die verticale Ebene ACB, oder gegen

die Ebene der Lade zu verändern. Da nun aber die Schraube N durch die Scheibe DE hindurchgeht, also die Drehung dieser mitmacht, so muß sie freien Raum haben, um ihre Lage auf der Platte ACB zu verändern, wenn sie mit dem Spiegel im Azimuth herumgeführt werden soll. Zu diesem Zwecke ist in der Grundplatte ACB ein halbkreisförmiger Ausschnitt H J (Fig. 304) gemacht, in welchem sich die Spindel der Schraube N während der Drehung der Kreisscheibe DE frei drehen kann.

Als Spiegel benutzte man sonst bei solchen Heliastoten auf der Rückseite mit Amalgam belegte Glasspiegel. Diese geben aber stets mehrere Bilder und beeinflussen so die meisten Erscheinungen auf störende Weise. Ich habe daher an meinem Instrument einen an der Vorderfläche versilberten Glasspiegel einsetzen lassen. Geschliffene Metallspiegel wären freilich vorzuziehen, sind aber für Schulzwecke zu theuer.

Da, wie schon bemerkt, der Stand der Sonne sich immerfort verändert, so muß der Heliostat während der Arbeit von Zeit zu Zeit gestellt und nach dem Stand der Sonne berichtigt werden, was natürlich störend ist. Man hat daher vielfältig Heliostaten construirt, die durch ein Uhrwerk so bewegt werden, daß das Lichtbündel, wenn es einmal in der verlangten Richtung ins Zimmer tritt, ungeachtet des veränderten Standes der Sonne, doch immer in derselben Richtung vom Spiegel reflectirt wird. Diese Apparate sind aber theuer und können daher für Schulzwecke wohl nur selten erschwungen werden. Eine Hauptsache ist für den Gebrauch des Heliostats immer, daß ein Zimmer mit südlicher Aussicht zur Verfügung stehe.

4. Das Reflexionsgesetz.

Den Versuch zum Nachweis des Reflexionsgesetzes stelle ich in folgender Weise an. Ich benutze drei auf einander folgende Zimmer, deren Thüren einander gerade gegenüber stehen; sie sind zusammen wohl an 24 m. lang. Am einen Ende, also im ersten Zimmer, stelle ich den Theodoliten so auf, daß das Fernrohr eine zum Durchsehen bequeme Höhe hat; dann stelle ich das Rohr vermittelst der darauf angebrachten Libelle horizontal und richte es durch Drehung des Kreises auf die im dritten Zimmer gegenüberstehende Wand; dort lasse ich auf einem geeigneten Stativ, eine Oel- oder Gaslampe aufstellen, die sich höher und niedriger schieben läßt. Kerzenlicht ist nicht anwendbar, weil es während des Brennens seine Höhe verändert. Für Gas eignen sich vorzüglich die S. 24 beschriebenen Ständer in Verbindung mit den S. 12 erwähnten Schläuchen. Die Flamme wird nun so hoch gerückt, daß sie durch das horizontal gestellte Fernrohr vom anderen Ende aus sichtbar wird, das Ocular des Fernrohrs so gestellt, daß man ein deutliches Bild des Lichtes erhält, wozu man es wegen der geringen Entfernung wird weit ausziehen müssen. In (Fig. 305) stelle A die Licht-

flamme, B die Drehachse des Theodolitfernrohrs vor; aus A und B fälle man die Lothe AA', BB' auf den Fußboden; in A geschieht dies mittelst eines Bleiloths, in B benutzt man das Loth des Theodolits. Die Punkte A', B' merke man mit Kreide auf dem Fußboden an, messe ihre horizontale Entfernung und bestimme danach die Mitte des gemessenen Abstandes A'B'. Auf die horizontale Lage der Fußböden kann man sich nicht verlassen; man soll aber die Messung in einer richtigen Horizontalen ausführen, und kann zu diesem Zwecke verfahren, wie ich es für's Feld in meiner Geodäsie S. 307 beschrieben habe. In der Mitte M soll man nun einen ebenen Spiegel so hinlegen, daß die reflectirende Ebene genau horizontal liegt. Glasspiegel taugen dazu wegen der mehrfachen Bilder nicht; ein kleiner Stahl- oder Silberspiegel ließe sich recht wohl verwenden, wenn man sicher sein könnte, die spiegelnde Fläche horizontal zu bekommen; da dies nicht in voller Schärfe

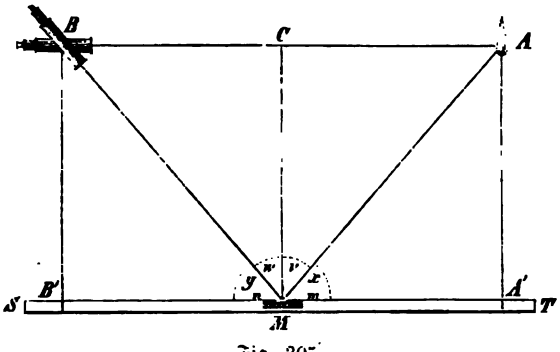


Fig. 305.

möglich ist, und eine sehr geringe Abweichung wegen der langen Gesichtslinie A M schon einen bedeutenden Winkelunterschied hervorbringen würde, so bleibt nichts Anderes übrig, als sich eines künstlichen Horizonts zu bedienen: dies ist eine Flüssigkeit, deren Oberfläche gut spiegelt. Als solche bietet sich zunächst reines Quecksilber. Es hält aber schwer, eine Quecksilberfläche zum Stillstehen zu bekommen; die geringsten Erschütterungen, die das Gebäude erfährt, theilen sich dem leicht beweglichen Quecksilber mit; es schlägt kleine Wellen, die das durch Reflexion erzeugte Spiegelbild schwankend und undeutlich machen, wodurch der Versuch gestört wird. Man zieht deshalb dickflüssigere Stoffe, z. B. Oele vor; um sie undurchsichtig zu machen, wobei sie erst einen Spiegel bilden, mischt man ihnen Kienruß bei; sie bleiben so flüssig genug, um sich horizontal zu stellen, und kommen doch nicht so leicht in Erzitterungen wie das Quecksilber.

Hat man den künstlichen Horizont in M aufgestellt, so senke man das Fernrohr B und richte es auf den Horizont m n in M; man wird dann das Bild der Flamme A darin erblicken, zum Beweise, daß der

von A kommende Lichtstrahl A M durch die spiegelnde Fläche von M nach B reflectirt wird. Die Linie A B ist parallel mit dem Horizonte m n; denkt man sich m n beiderseits verlängert, so daß die Verticalen A A', B B' von dieser Horizontalen getroffen werden, so entstehen die rechtwinkligen Dreiecke A A' M, B B' M, deren Katheten gleich sind; sie sind also congruent; folglich sind die Neigungswinkel x und y gleich. Denkt man sich dann noch M C senkrecht zu m n errichtet, so steht dieses auch auf A B senkrecht, und der Einfallswinkel v wird dem Reflexionswinkel w gleich. Daß die Einfalls- und Reflexionsebene in eine Ebene zusammenfallen, sieht man aus der ganzen Anordnung des Versuchs sofort. Das Reflexionsgesetz ist also hierdurch experimentel bewiesen.

Ist man nicht im Besitze eines Theodolits, so stellt man den Versuch einfacher mit einem bloßen Diopter an. Ein Diopter ist eine Metallplatte mit einem höchstens 2 mm. weiten Loch in der Mitte, zum Durchsehen. Das Diopter wird, in bequemer Höhe in einem Stativ, allenfalls auch in einer Klemme wie Fig. 23 auf S. 23 am einen Ende

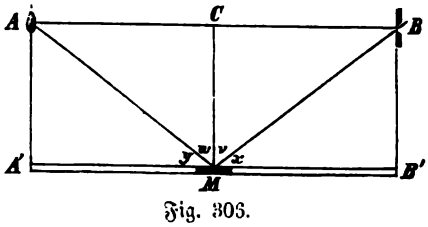


Fig. 306.

eines etwas langen Tisches aufgestellt, die Lichtflamme am anderen Ende (Fig. 306), da man hier aber durch Visiren von B nach A nicht mit Sicherheit eine Horizontale erlangen kann, so muß man mittelst einer Libelle oder der Setzwage die Lage der Tischebene ermitteln und nöthigen Falls durch Heben oder Senken sie in die horizontale Lage bringen. Man fällt dann die Lothe A A' und B B', setzt in die Mitte vor A' B' den künstlichen Horizont und verfährt weiter wie beim vorigen Versuch; so wird man sich überzeugen, daß auch hier W. x = y und v = w ist. Damit man durch das Diopter auch nach dem künstlichen Horizonte abwärts sehen kann, muß der Rand der Oeffnung nach dem Auge zu weit ausgebohrt sein.

Der Versuch läßt sich auch durch Beobachtung eines Fixsterns anstellen. Man bedient sich hiezu, wie nach der erst beschriebenen Methode, eines Theodolits mit Höhenkreis (Fig. 307). Der getheilte Kreis um O stelle diesen Höhenkreis vor; das Fernrohr A B werde nach dem Stern S gerichtet, so daß der Kreuzungspunkt der Fäden gerade den Stern deckt. Auf den Fußboden setze man einen künstlichen Horizont H H', in welchem von O aus, ebenfalls durch das Fernrohr, das Bild des Sterns S zu sehen ist. Der Strahl S' a der Figur kommt parallel mit S O, von demselben Stern, da der Fixstern unendlich weit entfernt ist.

Hat man nun bei der ersten Beobachtung den Elevationswinkel e vom Kreise abgelesen, und liest jetzt, nachdem das Fernrohr auf das Bild im künstlichen Horizont gerichtet ist, den Depressionswinkel d ebenfalls ab, so wird man finden, daß $d = e$ ist. Da nun O b die Horizontale durch das Auge O vorstellt, und der künstliche Horizont H H' gleichfalls horizontal ist, so ist O b parallel H H', also W. $x = d$ und $y = e$; weil die Beobachtung $d = e$ giebt, so ist auch $x = v$, d. h. die Neigungswinkel des einfallenden und des reflectirten Strahls sind einander gleich.

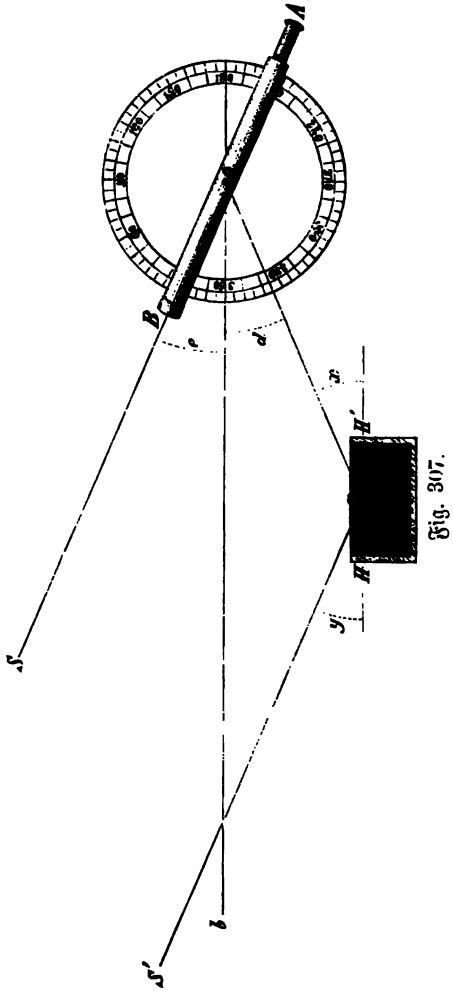


Fig. 307.

Man hat auch noch ein einfaches und zweckmäßiges Instrument, um das Reflexionsgesetz experimentel festzustellen. An einen 2 — 3 cm. breiten, 20 cm. langen Streifen Messing A B (Fig. 308) löthet man einen 6 cm. breiten, 31,42 cm. langen, zum Halbkreis gebogenen Streifen desselben Metalls A C B, wo C die Mitte des halbkreisförmigen Streifens bezeichnet, während M die Mitte von AB ist. An die unteren Kanten dieser Streifen löthe man, um dem Ganzen mehr Festigkeit zu geben, noch einen oder zwei Arme wie D C an. An der inneren Fläche von A B bringe man in der Mitte M einen 2 cm. breiten und eben so hohen Planspiegel von polirtem Stahl oder Silber an, so daß der Mittelpunkt des Halbkreises in die Ebene dieses Spiegels zu liegen kommt. Den gebogenen Streifen theile man von der Mitte C aus nach Rechts und nach Links hin in je 90°, so daß bei C C der Nullpunkt zu stehen kommt. In der durch den Nullpunkt gehenden

Senkrechten CC schneide man einen etwa 1 mm. breiten Schlitz in die Metallplatte, durch welchen Licht von Außen auf den Spiegel fallen kann. Solches Licht kann von einer Stearin- oder Wachskerze, von einer Lampe oder Gasflamme geliefert werden, oder es kann ein durch den Heliostat ins Zimmer geführtes Bündel directen Sonnenlichtes sein.

Der Spiegel M steckt mit einem unten daran befindlichen Zapfen in einem Körper D, der an die Schienen AB angelöthet ist. An den Zapfen ist unten der Knopf s befestigt, mit welchem der Spiegel M in dem Körper D gedreht werden kann. Vom Centrum aus geht ein Zeiger z, der auf dem Spiegel senkrecht steht und sich mit diesem zugleich dreht. Der Zeiger hat an seinem Ende noch einen aufwärts gebogenen Arm, womit er auf die höherliegenden kleineren Theilstriche weist; n, n, n sind die Füße des Instruments.

Stellt man den Zeiger z auf Null, so wird das Lichtbündel in sich selbst reflectirt, der Einfalls- und der Reflexionswinkel sind beide

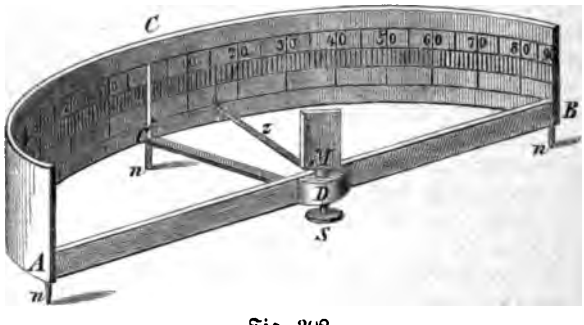


Fig. 308.

gleich Null. Stellt man den Zeiger auf 10° rechts oder links vom Nullpunkte, so ist der Einfallswinkel = 10°, das Licht wird nach 20° derselben Seite reflectirt, weil immer der Zeiger das Einfallsloth bildet. Aehnliches erfolgt, wenn man den Zeiger auf andere Punkte der Theilung richtet.

Mit demselben Instrument (Fig. 308) kann man auch die auf dem Reflexionsgesetz beruhende Erscheinung, daß, wenn der Spiegel gedreht wird, das Bild eines darin gespiegelten Gegenstandes einen doppelt so großen Winkel oder Bogen zurücklegt, als der Spiegel, nachweisen. Man lasse Licht durch den Schlitz CC treten und bringe den Zeiger z auf Null; der Strahl wird in sich selbst, nach dem Schlitz zurück reflectirt werden. Dreht man dann den Spiegel um eine Anzahl Grade, z. B. um 10°, so beträgt der Einfallswinkel des durch den Schlitz tretenden Lichtes 10°, weil der Zeiger z immer das Einfallsloth bildet; da der Reflexionswinkel nun auch 10° nach derselben Seite der Theilung hin betragen wird, so erscheint das reflectirte Licht, oder das Bild in 20°; während der Spiegel sich um 10° (von 0° bis 10°) gedreht hat, hat das Bild

einen Bogen von 20° zurückgelegt, also doppelt so viel wie der Spiegel, dieselbe Erscheinung würde bei jeder anderen Gradzahl erfolgen.

Andere hieher gehörige Instrumente, wie z. B. der Winkelspiegel und der Spiegelsextant sind in meiner Geodäsie S. 216—218, und S. 277—285 ausführlich behandelt; es mag genügen, hier darauf verwiesen zu haben.

5. Concav- und Convexspiegel.

In einer zum Unterricht bestimmten Sammlung bedarf man zweier Hohlspiegel; Convexspiegel sind, der Einfachheit der durch sie hervorgebrachten Erscheinungen wegen, weniger wichtig; man kann sich mit einem kleinen Convexspiegel aus Metall behelfen; allenfalls kann dieser aus Glas bestehen. Die Hohlspiegel aber müssen aus Metall gefertigt sein, da die gläsernen mehrfache Bilder geben, in der Regel nicht richtige Krümmung haben und nie die rechte Größe bekommen können. Die bekannten landläufigen Hohlspiegel von Glas, wie sie im Handel vorkommen und selbst in den Magazinen physikalischer Apparate ausgeboten werden, taugen höchstens zu Rasirspiegeln und einigen Spielereien für Kinder, aber zu keinen ernsten Arbeiten. Metallspiegel sind die einzig brauchbaren. Sie werden entweder aus Blech getrieben oder gegossen. Erstere sind zu Lichtversuchen nicht brauchbar, weil sie von den Hammerschlägen wellig sind und deshalb keine deutliche Bilder geben. Gegossene Hohlspiegel macht man aus einer härteren Art von Messing, sie müssen aber sorgfältig polirt werden. Auf den Guß kommt viel an, da er nicht immer gleich gut ausfällt; manches Messing wird im Guß porös und nimmt dann keine gute Politur an. Sie behalten die Politur viel länger, wenn man sie versilbert und dann wieder polirt. In jedem Falle aber sollte man gute Metallspiegel so aufbewahren, daß sie vor Staub und allen Arten Dünsten gesichert bleiben, damit man sie nicht zu oft abzuwischen braucht, weil dabei die Politur meist leidet. Man sollte sie also dicht zudecken, entweder mit anschließenden Metalldeckeln, oder einen Deckel aus Pappe überstülpen, so daß er über den Rand übergreift. Zur Befestigung werden an zwei einander gegenüberstehenden Punkten des Deckels am Rande die beiden Enden eines Gummibandes befestigt; das Band wird über die Rückseite des Spiegels gezogen und legt sich dann durch seine Elasticität von selbst straff an.

Nach längeren Zeitabschnitten wird man sie bei der sorgfältigsten Aufbewahrung einmal abwischen müssen. Den etwa auf den Spiegeln angesammelten Staub wischt man mit einem etwas großen Dachshaarpinsel ab. Ist die Politur durch darauf niedergeschlagene Wasserdämpfe matt geworden, so reibe man sie mit etwas loser Baumwolle ab; hilft das nicht ausreichend, so nehme man etwas Wienerkalk zu Hülfe, trocken oder mit ein paar Tropfen Oel.

Jeder Spiegel steckt in einem Stativ. Zum Anbringen des Spiegels im Stativ dient ein starkes Rohr, welches durch ein Gelenk mit dem

Spiegel verbunden ist. In (Fig. 309) stellt AB den Spiegel im Profil, G das Gelenk auf der Rückseite vor; mit dem starken Rohr GH wird der Spiegel vom Stativ HK getragen, während die Schraube v dazu dient, ihn in verschiedenen Höhen im Stativ festzuhalten. Das Rohr GH, welches in das Stativ gesteckt wird, darf sich im Gelenk G nicht zu leicht drehen; das Gelenk muß durch eine starke Flügelschraube so gebremst werden, daß der Spiegel nicht etwa durch sein eigenes Gewicht eine Drehung veranlassen kann. Durch diese Art der Befestigung gewinnt man den Vortheil, daß man die Spiegelachse in beliebige, auch gegen den Horizont geneigte Lage bringen, so z. B. den Spiegel gegen die Sonne oder einen anderen beliebig gelegenen Punkt richten kann. Das Stativ besteht aus einem Dreifuß von Holz, Messing oder Eisen.

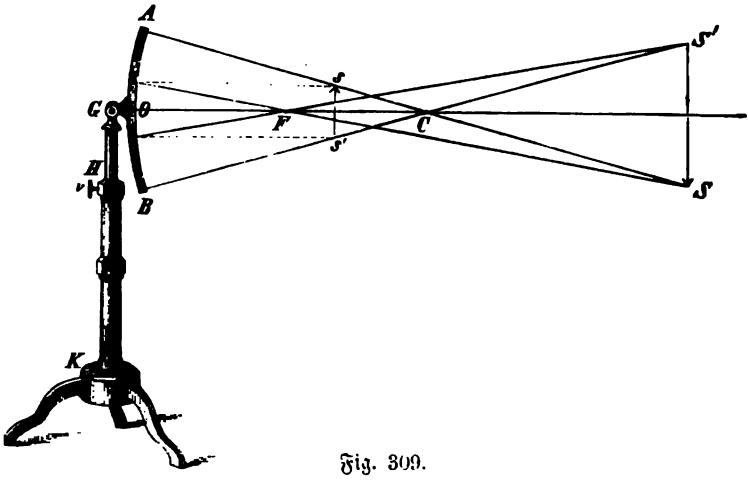


Fig. 309.

Die Größe der Spiegel kann natürlich sehr verschieden sein; zur bloßen Darstellung der katoptrischen Bilder ist gerade keine bedeutende Größe erforderlich. Je größer die Oeffnung, desto mehr Licht nimmt der Spiegel auf, desto hellere Bilder kann er geben. Wenn sonst aber nur die Politur gut ist, werden Spiegel von 20—30 ^{cm} Oeffnung zu dem genannten Zwecke das Erforderliche leisten. Sollen aber die Spiegel zugleich als Brennspiegel dienen, so müssen sie, um bedeutende Hitze zu erregen, den Sonnenstrahlen eine möglichst große Fläche darbieten, um im Brennpunkte viele Strahlen zu vereinigen. Zu katoptrischen Zwecken kommt es besonders darauf an, alle auffallenden Strahlen, die von einem Punkte herkommen, nach der Reflexion wieder in einen Punkt zu vereinigen. Aber bei sphärischen Spiegeln erleiden die vom Rande der Spiegel zurückgeworfenen Strahlen eine Abweichung, so daß sie sich nicht wieder mit den aus der Mitte kommenden in einem Punkte vereinigen; deshalb muß man, um der Deutlichkeit der Bilder nicht Ein-

trag zu thun, nur Strahlen zur Wirkung kommen lassen, die aus Punkten des Spiegels kommen, welche der Achse nahe liegen. Die Spiegel dürfen nur wenige Grade der Kugelfläche umspannen, müssen also kleine Segmente großer Kugeln sein. Man kann, wenn man (Fig. 310) zu Grunde legt, für die betreffenden Größen eine einfache Gleichung finden und eine derselben aus den übrigen ableiten; ist a die halbe Spiegelöffnung $= AE$, $AC = AO = r$ der Radius des Spiegels und φ der Centriwinkel ACB der ganzen Oeffnung, so ist $a = r \cdot \sin \frac{\varphi}{2}$; nimmt man zwei dieser Größen beliebig an, so läßt sich die dritte daraus berechnen.

Bei der Anschaffung eines Hohlspiegels hat man seine Politur zu prüfen. Man stelle zu dem Zwecke eine Lichtflamme in den Brennpunkt, wenn man ihn noch nicht kennt, suche man den Punkt, wo ein Gegenstand kein Bild sondern nur einen allgemeinen, nicht begrenzten Lichtschein giebt. (Es wird w. u. noch ein anderes Verfahren angegeben werden). Von einem entfernten Punkt der Achse aus betrachte man diesen Lichtschein genau. Er muß überall gleichmäßig hellglänzend, nirgends durch dunklere, oder auch nur weniger glänzende Punkte oder Flecken unterbrochen sein.

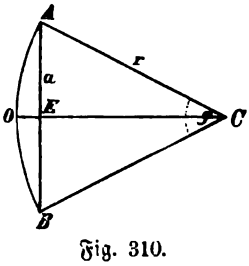


Fig. 310.

Ob der Spiegel die richtige Form habe, zeigt sich an der Deutlichkeit der Bilder. Man stelle eine Lichtflamme so vor den Spiegel, daß ein vergrößertes, dann auch so, daß ein verkleinertes Bild entsteht, und prüfe die Bilder auf ihre Helligkeit und auf die Schärfe der Umrisse. Wenn die Politur tadellos befunden und der Spiegel der oben gestellten Bedingung, daß er nur wenige Grade der Kugelfläche umfassen soll, genügt, und dabei klare, gut begrenzte Bilder einer Lichtflamme giebt, so wird die Form richtig sein.

Um die Aufstellung der Hohlspiegel bei allen damit anzustellenden Versuchen zu erleichtern, ziehe man auf einem langen Tisch der ganzen Länge nach eine gerade Linie; man schlägt die Linie erst mittelst eines mit Kreide bestrichenen Bindfadens auf die bekannte Weise ab und zieht sie dann mit Oelfarbe (Mennige mit Leinölfirniß angerieben) aus, um sie dauernd zu machen. Auf dieser Linie bemerkt man durch ein Zeichen gegen das eine Ende hin einen Punkt, über dem der eine der beiden Spiegel so aufgestellt werden soll, daß dieser Punkt die Projection des optischen Mittelpunktes dieses Spiegels bildet, und trägt auf der ganzen Linie von da aus einen Centimeter-Maßstab auf, wobei man auch, des leichteren Abzählens wegen, jedes Decimeter durch längere Theilstriche anmerkt. Gegen das andere Ende hin zeichnet man dann wieder einen der vorhandenen Theilstriche als Projection des optischen Mittelpunkts des anderen Spiegels aus.

Es soll nun die Brennweite beider Spiegel bestimmt werden. Dies

eschieht entweder durch den Versuch oder durch Rechnung. Man stelle den Spiegel, dessen Brennpunkt gefunden werden soll, auf dem Anfangspunkt der getheilten Linie auf; lothe von der Rückseite den optischen Mittelpunkt ab und rücke den Spiegel, wenn nöthig, so, daß das Loth auf den Anfangspunkt der Theilung fällt. Dann drehe man den Spiegel im Gelenk auf der Rückseite so, daß ein an den obersten Punkt des Spiegelrandes gelegtes Loth gerade den untersten Randpunkt berührt, ohne überzuhängen oder abgelenkt zu werden; wenn dies geschehen, ziehe man die Gelenkschraube fest an, daß in dieser Beziehung der Spiegel nicht wieder sich verstellen kann. Da beim Schließen der Schraube leicht eine Verschiebung im Gelenk vorkommen kann, so prüfe man nochmals mit dem Loth und corrigire im Nothfall. Der Spiegel muß nun noch so gestellt werden, daß seine optische Achse der auf dem Tisch gezogenen Linie parallel läuft, oder daß die Ebene des Spiegelrandes auf jener Linie senkrecht steht. Dies geschieht am leichtesten, wenn man in der Höhe der Spiegelachse ein Licht aufstellt und zusieht ob das Bild in die durch die Tischlinie gelegte Verticalebene fällt, dann den Spiegel links oder rechts dreht, bis er das Geforderte leistet. Man kann diese Stellung auch durch Ablothen der äußersten Randpunkte links und rechts finden, wenn man prüft, ob die, die Projectionen dieser Punkte verbindende Linie auf der Hauptlinie senkrecht steht und danach corrigirt.

Nun erst, nachdem der Spiegel die richtige Lage zur vorgezeichneten Linie erhalten, kann man daran gehen, den Brennpunkt zu bestimmen. Man stelle, wie vorher, eine Lichtflamme in der Achse des Spiegels auf, so daß dieser ein wirkliches Bild vor dem Spiegel davon giebt. Da nur Objecte innerhalb der Brennweite virtuelle Bilder geben, so braucht man nur das Licht etwas weit vom Spiegel zu stellen, um ein Luftbild zu bekommen. Man suche dieses Bild auf; ist es näher am Spiegel als der Gegenstand, so nähere man das Licht dem Spiegel; ist das Bild weiter vom Spiegel als der Gegenstand, so bringe man diesen weiter vom Spiegel; in beiden Fällen wird man nach und nach dahin gelangen, daß das Bild mit dem Gegenstand zusammenfällt. Ist dies erreicht, so lese man von der getheilten Linie die Entfernung dieses Punktes vom optischen Mittelpunkte ab (natürlich muß man den Punkt auf dem Tisch durch Ablothen der Lichtstelle finden). Dieser Punkt ist der geometrische Mittelpunkt des Spiegels, sein Abstand vom optischen Mittelpunkte der Halbmesser des Spiegels; die Hälfte dieses Abstandes ist die Brennweite, der Punkt selbst der Brennpunkt.

Man kann den Brennpunkt auch dadurch finden, daß man den Spiegel gegen die Sonne richtet; es muß dann aber die Spiegelachse gerade durch die Sonne gehen; dies prüft man dadurch, daß man in der Mitte des Spiegels ein Loth errichtet, einen Stab senkrecht gegen die Spiegelfläche hält und zusieht, ob das Sonnenbild in seine Richtung fällt. Die Entfernung des Sonnenbildes wird gemessen. Diese Bestimmung ist aber nicht so sicher wie die vorige.

Durch Rechnung findet man den geometrischen Mittelpunkt, d.

Den Halbmesser des Spiegels in folgender Weise. Man messe (Fig. 310) die Oeffnung A B des Spiegels und den Abstand der Oeffnungssehne vom optischen Mittelpunkt E O = h; ist dann C der Mittelpunkt des Spiegels und C A = C O = r der Radius, so hat man:

$$A C^2 = A E^2 + C E^2,$$

oder, wenn a die halbe Oeffnung A E bedeutet,

$$r^2 = a^2 + (r - h)^2,$$

woraus $r = \frac{a^2 + h^2}{2\,h}$, so wie die Brennweite

$$F = \frac{a^2 + h^2}{4\,h}.$$

Bequemer ist es, ein wirkliches Bild einer Lichtflamme hervorzubringen, den Abstand a der Flamme und den Abstand α des Bildes vom Spiegel zu messen, d. h. von der getheilten Linie abzulesen, dann nach der Formel:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$$

die Brennweite F aus diesen Größen zu berechnen.

Die bekannten Versuche über die Lage, Größe und Entfernung der Bilder werden natürlich im dunkeln Zimmer angestellt. Zur vorausgehenden Construction derselben haben wir in (Fig. 309) wenigstens für einen Fall beim Hohlspiegel eine Andeutung gegeben; ss' ist das Object, SS' das vergrößerte, umgekehrte Bild, das in der Zeichnung durch die Parallel- und Hauptstrahlen construirt worden. Man wird die Ergebnisse der Versuche allemal auf die Resultate der Construction, oder aber auf die der Rechnung nach der Formel beziehen. Zur Bestimmung der Lage der Bilder in Bezug auf den Brennpunkt, dient die oben erwähnte getheilte Linie viel besser, als die so oft empfohlene Latte. Hat man es mit so schweren Instrumenten, wie metallene Hohlspiegel, zu thun, so muß man ihnen einen festen Stand geben, den sie auf einer Latte nicht bekommen können. Ueberdies muß man es möglichst vermeiden, in einer Sammlung, für die nur knapper Raum angewiesen ist, viele Gegenstände von großen Dimensionen anzusammeln; man wird bald nicht mehr wissen, wo man sie unterbringen soll.

Zum Auffangen der Bilder bedient man sich eines Schirms. Liegen die Bilder dem Spiegel näher als der Gegenstand, so darf der Schirm nur klein sein. Es dient dazu ein kleiner, mit Papier bespannter Rahmen oder ein Stück Kartonpapier an einem Drahte, den man allenfalls in ein kleines Stativ steckt. Um solchen Schirm in die rechte Höhe zu bringen, stellt man das Stativ auf ein anderes, etwa wie (Fig. 21 S. 22). Fig. 311 stellt ein solches Stativchen mit dem Schirm dar.

Für Bilder, die weiter vom Spiegel entfernt sind als der Gegenstand, muß man einen größeren Schirm haben. Bei den vorigen würde ein großer Schirm das Licht vom Spiegel abhalten, hier aber fällt dieses Hinderniß weg. Ein solcher größerer Schirm, der auch sonst noch

zu unzähligen Versuchen gebraucht wird, besteht aus einem quadratischen Rahmen von etwa 80 cm. Seitenlänge; der Rahmen wird mit weißem Zeichenpapier bespannt (Fig. 312), wo A B C D den Rahmen vorstellt. An einer Seite ist ein 60 cm. langer runder oder rechteckiger Stab S eingefugt und verleimt; dieser wird in das hohle dreifüßige Stativ T U gesteckt und durch die Schraube v in jeder beliebigen Höhe festgehalten.

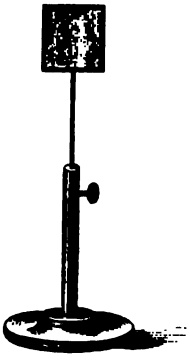


Fig. 311.

Durch eine einfache Vorrichtung läßt sich auch die sphärische Abweichung der Hohlspiegel zeigen. Um nur Strahlen von der Mitte des Spiegels zu bekommen, verschaffe man sich einen Ring von Pappe, dessen größerer (äußerer) Durchmesser der Spiegelöffnung gleich ist, wie abc (Fig. 313), während der kleine (innere) etwa halb so groß sein mag. Ringsum klebe man senkrecht zur Ebene des Ringes an den äußeren Umfang einen 1—1,5 cm. breiten Rand ebenfalls von Pappe. Diesen Ring stülpe man über den Spiegel, so kann nur auf die Mitte Licht auffallen, also auch nur von da reflectirt werden. Um nun, statt des Randes, die Mitte des Spiegels zu verdecken und den Rand frei zu lassen, nehme man ein kreisförmiges Stück Pappe, dessen Durchmesser etwa halb so groß als die Spiegelöffnung wie m (Fig. 314), befestige in den Enden zweier senkrechter Durchmesser, in n,o und p,q die Enden zweier Gummibänder, und nehme die Bänder gerade so lang, daß, wenn sie über die Rückseite des Spiegels gezogen werden, sie sich scharf anspannen und die Scheibe m sicher vor der Mitte des Spiegels festhalten. Das eine Band geht also von n nach n' über die Rückseite des Spiegels nach o und o; eben so das andere von p nach p hinten herum nach q' und q.

Fig. 312.

Richtet man den Spiegel, bei d die Mitte frei ist, (Fig. 313), gegen entfernte, hell brennende Lampenflam so werden die centralen Strahlen

Bild nahe am Brennpunkt erzeugen. Man bemerke sich den Ort des Bildes auf der auf dem Tisch gezogenen, getheilten Linie. Dann setze man, statt des Ringes abc, die Pappscheibe m der (Fig. 313) vor den Spiegel, welche nur Randstrahlen auf denselben gelangen läßt, und stelle denselben Versuch an wie im vorigen Fall; man wird bemerken, daß das Bild der Flamme merklich näher an den Spiegel zu stehen kommt, als beim ersten Versuch. Die Vereinigungsweite der Randstrahlen ist also kürzer als die der Centralstrahlen.

Nimmt man bei diesen Versuchen die Sonne selbst als leuchtendes Object, so erhält man mit der ersten Vorrichtung den wahren Brennpunkt, weil die Sonnenstrahlen unter einander parallel auffallen; der zweite Versuch giebt ein Sonnenbild näher am Spiegel.

Fig. 313.

Bei einigen Versuchen mit dem Hohlspiegel wird es nöthig, das Bild außerhalb der Spiegelachse zu bringen, weil das vom Object kommende Licht die auffangende Fläche zu stark erleuchtet; dies ist namentlich der Fall, wenn Object und Bild einander sehr nahe sind, oder gar zusammenfallen. Dann setze man das Object etwas seitwärts, so rückt das Bild nach der anderen Seite hin und wird nicht mehr gestört.

Stellt man über der getheilten Linie zwei Spiegel auf, einen an jedem Ende, so daß die Achsen beider Spiegel in dieselbe gerade Linie fallen, und bringt in den Brennpunkt des einen eine Lichtflamme, in den des anderen einen kleinen Schirm zum Auffangen des Bildes, so erscheint auf diesem das umgekehrte Bild der Flamme.

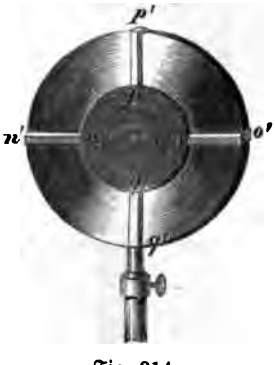


Fig. 314.

Mit dem Hohlspiegel läßt sich noch ein Versuch anstellen, der einigermaßen das Verfahren erklärt, das bei Schaustellungen der Taschenspieler oft angewandt wird. An einer Seite eines Tisches hängt man ein schwarzes Tuch herunter, heftet darauf einen künstlichen Blumenstrauß a (Fig. 315) in umgekehrter Lage und beleuchtet ihn stark durch eine schräg davon gestellte Lichtflamme. Dann stellt man den Hohlspiegel AB so gegenüber auf den Fußboden, daß ein umgekehrtes Luftbild b über dem Tisch entsteht; die Achse OD des Spiegels muß also über das Object fortgehen, der geometrische Mittelpunkt zwischen Bild und Object fallen; die Mitte F von CO ist dann der Brennpunkt

die Fig. zeigt die Entstehung wenigstens eines Punktes vom Bilde. Bild kommt dann etwas höher zu stehen als das Object und umgekehrt, steht also aufrecht. Stellt man auf den Tisch, oder ein Stativ ein Glas mit Wasser, so kann man dem Bilde eine ge Stellung geben, als stände der Strauß im Glase; da es ein

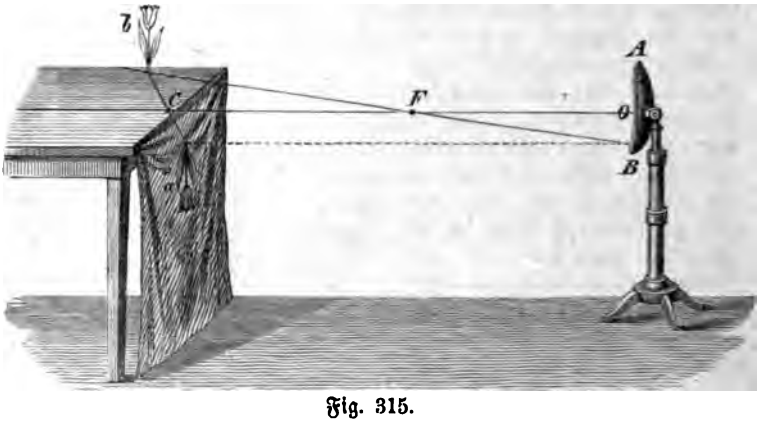


Fig. 315.

wirkliches Bild, ist so sieht man es in der Richtung der fortgehenden Strahlen frei in der Luft schweben, das Glas befördert nur die Täuschung, als sähe man einen wirklichen Gegenstand.

6. Brechungsgesetz.

Der erste Versuch über die Brechung des Lichtes soll zunächst eine Anschauung von der Ablenkung eines Lichtstrahls geben, wenn er in ein anderes Mittel eintritt. Man bedient sich hiezu eines klaren Glaswürfels von 3—4 cm. Seitenlänge, oder eines ebensolchen Glasgefäßes mit ebenen Wänden, worin man Wasser gefüllt hat, läßt vom Helioſtat einen horizontalen Strahl ins dunkle Zimmer treten und senkrecht auf eine Seite des Würfels fallen, wobei sich zeigen wird, daß derselbe in unveränderter Richtung durch das neue Mittel hindurchgeht. Dreht man aber den Würfel so, daß der Strahl schief auf ein Seitenfläche auftrifft, so geht er nicht mehr in der geraden Linie fort sondern wird nach dem Einfallsloth zu abgelenkt. ABCD (Fig. 316) stellen den Würfel im Grundriß vor (eine Seitenansicht würde die wahren Richtungen des Strahls vor und nach der Brechung nicht darstellen könne

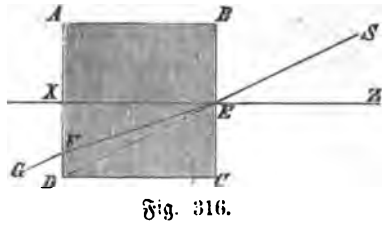


Fig. 316.

ZEX ist das Einfallsloth, oder auch ein senkrecht auffallender Strahl, SE ein von der Seite schief auffallender Strahl; dieser geht nicht in derselben Richtung nach ED fort, sondern in der dem Einfallsloth ZEX genäherten Richtung EF durch das Glas (oder Wasser), um bei seinem Austritt aus demselben in der dem einfallenden Strahl SE parallelen Richtung FG in die Luft überzugehen. Dieser Versuch liefert ein Beispiel der Brechung zum Einfallsloth.

Man nehme ein Gefäß ABCD (Fig. 317) mit undurchsichtigen Wänden, etwa von Porzellan, lege auf den Boden desselben einen leicht sichtbaren Körper ab, ein Messingplättchen oder eine Münze, stelle das Auge so, daß die gerade Linie bAO vom entfernteren Rande b über den Rand des Gefäßes bei A zum Auge in O gelangt, der Körper ab selbst aber unsichtbar bleibt; lasse dann bis zu einiger Höhe NN Wasser in das Gefäß gießen, ohne das Auge O, oder den Körper ab dabei im Geringsten zu verrücken, so wird man denselben in seiner ganzen Ausdehnung sehen. Die Lichtstrahlen am, bn vom Körper ab zur Wasseroberfläche NN werden also beim Eintritt in die Luft abwärts gelenkt, nach O gebrochen.

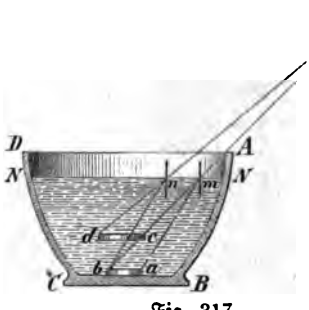


Fig. 317.

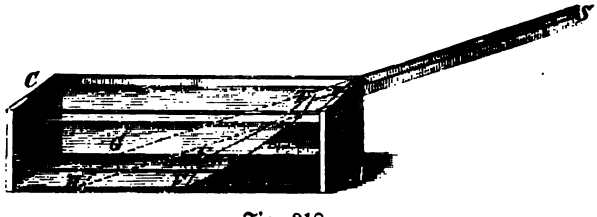


Fig. 318.

Die in m und n gebrochenen Strahlen mO, nO machen mit der Wasserfläche kleinere, mit dem Einfallsloth größere Winkel als die einfallenden Strahlen am, bn. Das Licht wird vom Einfallsloth gebrochen, der Körper ab wird höher in cd gesehen. Zöge man nämlich von a aus noch einen, dem ersten am nahe gelegenen Strahl am', den die Figur übrigens nicht enthält, um sie nicht durch zu viele Linien undeutlich zu machen, so würde dieser nach seinem Uebergang in die Luft mit mO etwas divergiren und die Verlängerungen der beiden Strahlen mO und m'O im Wasser würden sich in dem Punkte c oberhalb a treffen; der Punkt a würde dem Auge in c zu sein scheinen. Dasselbe ist der

b und allen anderen von a b ausgehenden Strahlen. Der
nd a b, und mit ihm der ganze Gefäßboden, erscheint höher,
c d. Je höher das Wasser steht, desto mehr wird der Boden
s auf ihm liegt, erhöht.

er Fall der Brechung zum Einfallsloth läßt sich auch noch durch
zung des Schattens zeigen. Ein längliches, parallelepipedisches
A B C D (Fig. 318) habe an den schmäleren Seiten A B und C D
chsichtige Wände aus Metallplatten, während die anderen beiden aus
ı Glasplatten bestehen. Man lasse von der Seite der einen undurch-
jen Wand A B ein Lichtbündel S T so über den Rand B weggehen,
ein Theil des Lichtes auch noch die Metallwand trifft. So lange
Inneren des Gefäßes Luft ist, das Licht sich also aus- und inwendig
demselben Mittel bewegt, würde der Schatten der Wand auf dem
den bis G H reichen, wohin die geraden Linien von S über den
nd B hinweg gelangen. So wie man aber Wasser in das Gefäß
ßt, reicht der Schatten nur bis E F, wird also verkürzt.

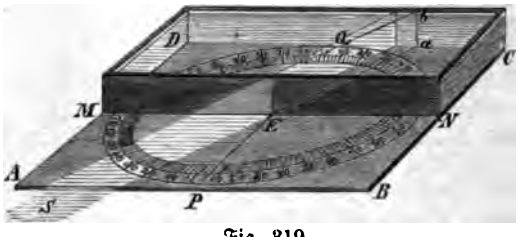


Fig. 319.

Um das Brechungsgesetz experimentel nachzuweisen sind verschiedene
lpparate vorgeschlagen. Wir beschreiben deren zwei:

Man nehme eine etwas starke quadratische Messingplatte A B C D
Fig. 319) von 8 cm. Seite, reiße einen Kreis darauf ein, dessen Durch-
nesser der Breite der Platte fast gleich ist, dann theile man den Kreis
urch zwei aufeinander rechtwinklige Durchmesser M N, P Q in seine vier
Quadranten, Jeden dieser Quadranten theile man am Rande in 90°,
o daß an die Endpunkte des Durchmessers P Q die Nullpunkte zu stehen
ommen. Die eine Hälfte M D C N dieser Platte soll nun als Boden-
latte eines Kästchens dienen, das 8 cm lang und 4 cm breit ist, die eine
Wand also gerade mit dem Durchmesser M N zusammenfällt. Alle vier
Seitenwände werden aus Glasplatten gemacht, die an den Kanten sorg-
ältig zusammengefügt und verkittet werden. Die Wand über M N wird
nit Asphaltlack schwarz angestrichen, also undurchsichtig gemacht; in der
Mitte jedoch, gerade über dem Centrum E wird ein schmaler, senk-
echter Streifen undurchsichtig gelassen, um hier Licht in den Kasten ein-
ulassen.

Um den Versuch mit diesem Instrumente anzustellen führe man ei
ünnes Lichtbündel directen Sonnenlichts durch eine enge Spalte vo

Heliostat ins dunkle Zimmer und stelle das Instrument so auf, daß das Lichtbündel auf die durchsichtige Linie E fällt. Im leeren Gefäß wird dasselbe unverändert hinter der Platte MN fortgehen, wie man an der Gradtheilung vor dem Eintritt und nach dem Durchgang durch das Kästchen sehen wird. Gießt man nun aber Wasser in das Kästchen, und fällt das Lichtbündel schief gegen die Wand MN auf den durchsichtigen Streifen E, so wird es gegen das Einfallsloth OEO abgelenkt werden. Man lese die Gradzahlen ab, über die der Lichtstreifen diesseits der Wand MN und jenseits derselben fortgeht; erstere sei α^0, letztere β^0. Bestimmt man dann die Sinus dieser Winkel, so wird man finden, daß nahezu $\sin \alpha : \sin \beta = 4 : 3$ ist. In der Figur fällt der Strahl SE unter 30^0 ein und wird nach 22^0 abgelenkt; es ist auch $\sin 30^0 : \sin 22^0 = 4 : 3$ (nahe genau); Eab zeigt die Lage, die das ungebrochene Lichtbündel annähme. Wählt man dann in einem zweiten und folgenden Versuchen andere Einfallswinkel und bestimmt die zugehörigen Brechungswinkel durch den Versuch, so wird man finden, daß das Verhältniß der Sinus der beiden Winkel für Wasser allemal dasselbe bleibt; ersetzt man das Wasser durch eine andere Flüssigkeit, so wird zwar das Sinusverhältniß ein anderes, aber doch immer für alle Einfallswinkel constant bleiben.

Fig. 320.

Ist Sonnenlicht nicht zu haben, so könnte man hinter E eine künstliche Flamme setzen und den Versuch eben so machen. Da aber das Auge dann leicht geblendet wird, so muß man auf die Platte MN noch eine höhere undurchsichtige Platte aufsetzen, damit außer dem durch die Spalte E gehenden Lichtstreifen kein anderes Licht zum Wasser gelange.

Um das directe Sonnenlicht zu ersetzen kann man sich auch des Thurms A B (Fig. 320) bedienen. Dies ist ein Kasten aus schwarzem Eisenblech, dessen Verbindungen der Platten überall durch Nieten (nicht durch Löthen) beschafft sind. Nach Unten zu ist er etwas weiter gemacht. Der oben offene Raum kann durch den aus der Figur zu erkennenden Deckel zugedeckt werden; da er jedoch nicht ganz schließen darf, so wird er nicht auf den Rand aufgelegt, sondern durch innen am Deckel angebrachte sperrende Federn in einigem Abstande von den oberen Rändern gehalten. Bei o ist in die eine Seitenwand ein rechteckiges Loch ausgeschnitten, das an der oberen und unteren Kante mit Falzen versehen ist, worin man passende Metallplatten mit Diaphragmen (Oeffnungen) einschieben kann. Ins Innere setzt man einen Gasständer wie (Fig. 25) S. 24, an dem sich die Flamme gerade in die Höhe der Oeffnung o

schieben läßt. Die Stange reicht durch die Oeffnung q in der Decke hindurch. Bei m ist ein Einschnitt gemacht, um den Gasschlauch zur Lampe zu führen. Statt des Gases kann man indeß auch eine Petroleumlampe gebrauchen. Um leichter ins Innere zu gelangen, kann auch die eine Seitenwand als eine in Charnieren sich drehende Thür eingerichtet werden.

Da ich das künstliche Licht manchmal zu schwach fand, so ließ ich der Oeffnung o gegenüber noch eine eben solche in die Rückwand einschneiden, die ebenfalls mit Falzen versehen wurde, und setzte hier einen Hohlspiegel aus Neusilber so ein, daß die Lichtflamme in den Brennpunkt zu stehen kam, wo er denn das Licht parallel auf die vordere Oeffnung o reflectirte.

Was nun die Diaphragmen betrifft, so muß man erstlich eine in die Falze der Oeffnung o passende Metallplatte mit einer nach Innen abgeschrägten runden Oeffnung von 2—3 mm Durchmesser haben; dann eine Platte AB (Fig. 321), an welcher sich ein Spalt ss herstellen läßt, welchen man beliebig enger oder weiter machen kann. Dies geschieht durch Verschieben der Platte pp mittelst des Knopfes k sie läuft seitwärts in Falzen längs a und b; die andere Platte qq ist fest; die einander gegenüberstehenden Ränder der den Spalt bildenden Platten werden auf der einen Seite abgeschrägt, so daß nur scharfe Kanten stehen bleiben. Die Platte besteht aus Messing und wird durch Höllensteinlösung geschwärzt.

Der Schieber pp in der eben beschriebenen Spaltplatte wird aus freier Hand bewegt. Besser ist es, denselben wie in (Fig. 322), mittelst der Schraube v und der Feder f zu bewegen; letztere strebt, den Schieber wieder zurückzustoßen, den Spalt weiter zu machen; durch die Schraube kann man ihn gleichmäßig und um ganz geringe Größen der gegenüberstehenden Kante nähern. Sonst ist die Platte gerade wie die vorige eingerichtet.

Einfacher noch erreicht man denselben Zweck durch die optische Lampe. Die Lampe selbst besteht aus einem Argandbrenner für Leuchtgas oder ist eine Petroleumlampe mit doppeltem Luftzug (Rundbrenner); statt des Glascylinders ist ein Cylinder von Eisenblech aufgesetzt, der in der Flammenhöhe eine rechteckige Oeffnung von 2 cm Höhe und 1 cm Breite hat. Ueber diesen unteren Theil läßt sich ein 3—4 cm hoher zweiter Cylinder von Eisenblech schieben, der verschiedene Oeffnungen hat, wie z. B. runde Oeffnungen verschiedener Weite, Spalten von 1, 2, 3 mm Breite, einen Spalt, an dessen oberem Ende noch ein Querausschnitt gemacht ist; diese Oeffnungen sind so vertheilt, daß man durch Drehen des kurzen Cylinders immer nur eine derselben vor die Oeffnung des inneren Cylinders bringen kann. Der äußere, kurze Cylinder hat einen Stiel, auf den ein hölzerner Griff aufgesetzt wird, wobei man ihn Behufs der Drehung faßt, um nicht von der Hitze belästigt zu werden.

2. Ein anderer Apparat, um die Brechung des Lichts zu zeigen, ist durch die (Fig. 323) dargestellt. Er besteht aus dem halbkreisför-

migen Gefäß ABC von 20—25 cm Durchmesser und 7—8 cm Tiefe; die halbkreisförmige Seitenwand und der Boden bestehen aus Messingplatten, die ebene Wand AC ist eine Glasplatte. Das Gefäß ist in- und auswendig mit Oelfarbe gestrichen, die Glasscheibe aber mit Asphaltlack überzogen, jedoch ist in der Mitte ein schmaler, senkrechter Streifen cc gleichsam als Spalt zum Durchlassen des Lichtes, durchsichtig gelassen. Die halbkreisförmige Wand ist inwendig von der Mitte aus nach jeder

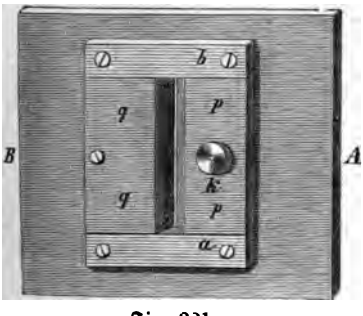


Fig. 321.

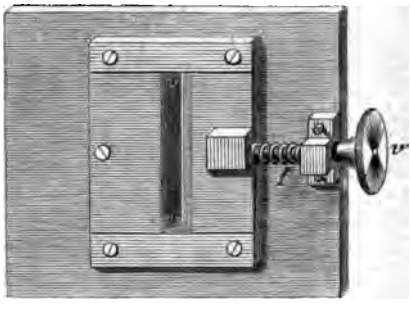


Fig. 322.

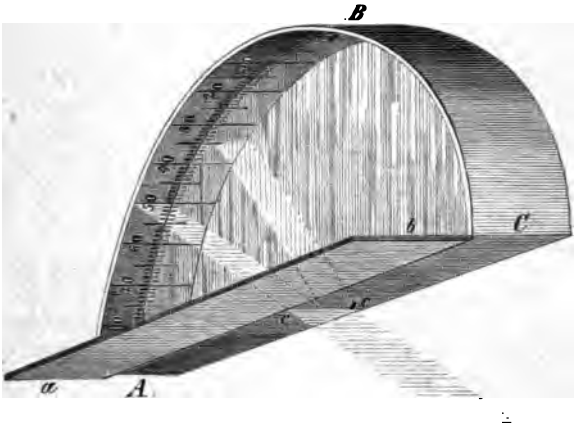


Fig. 323.

Seite in 90° getheilt; die Theilstriche sind von Oben bis über die Hälfte der Tiefe gezogen. Ueber der Glaswand AC und dicht auf ihrer Oberkante liegend, wird eine dünne, geschwärzte Messingplatte ab, 8—10 cm hoch angebracht, um alles Licht, das nicht durch den Spalt cc geht, von dem Gefäß zurückzuhalten.

Um hiermit das Brechungsgesetz festzustellen, gieße man etwa bis zur halben Höhe Wasser in das Gefäß und richte ein dünnes, durch

en schmalen Spalt erzeugtes Lichtbündel directen Sonnenlichtes vom lioſtat horizontal auf den Spalt cc, drehe das Gefäß erſt ſo, daß s Bündel ſenkrecht zur Glaswand ſteht. Man wird bemerken, daß s Licht durch die Luft und durch das Waſſer denſelben Punkt der heilung erreicht, alſo ungebrochen bleibt. Dann drehe man das Geäß ſo, daß das Licht unter irgend einem ſchiefen Winkel auffällt. In er Luft, über dem Waſſer, geht es dann noch gerade fort; an der Theilung kann man alſo ableſen, unter welchem Winkel gegen die Verticale (das Einfallsloth) das Licht eingefallen iſt. Der Strahl iſt aber auch unter Waſſer ſichtbar und wird da dem Einfallsloth genähert erſcheinen. Die abzuleſende Gradzahl giebt den Brechungswinkel. Berechnet man, wie oben, das Verhältniß der Sinus beider Winkel, ſo wird man es gleich 4:3 finden. Dreht man dann das Gefäß ſo, daß das Licht unter anderen und anderen Winkeln auffällt, beſtimmt wie vorher in jedem Falle den Einfalls- und Brechungswinkel und berechnet (oder ſchlägt in der Tafel auf) die Sinus derſelben, ſo wird man bei Anwendung von Waſſer, für alle Einfallswinkel daſſelbe Verhältniß finden; andere Flüſſigkeiten geben auch andere Verhältniſſe. In der (Fig. 323) fällt der Strahl unter 50° (gegen das Einfallsloth) ein und wird auf ungefähr 35° zurückgebrochen, d. h. dem Einfallsloth um 15° genähert; in der That iſt auch nahezu $\sin 50° : \sin 35° = 4:3$. Genauer als auf ganze Grade kann man die Winkel bei dieſen Inſtrumenten nicht ableſen.

Wäre directes Sonnenlicht nicht zu haben, ſo müßte man gerade ſo verfahren wie bei dem vorigen Apparat.

Der letztbeſchriebene Apparat kommt im Handel vor, iſt aber ſo, wie er geliefert wird, unbrauchbar. Einmal fehlt die oben erwähnte Platte ab, weshalb der Raum im Gefäß nicht dunkel genug iſt, um deutlich den Gang der Lichtſtrahlen verfolgen zu können; dann ſind über die Glaswand in einiger Entfernung Metallplatten gelegt, die allerdings den Spalt freilaſſen; aber der Bereich, innerhalb deſſen Licht ins Innere kommen kann, iſt ein ſo geringer (höchſtens 12—15°), daß ſich keine entſcheidenden Verſuche damit anſtellen laſſen.

7. Totale Reflexion.

Ein beſonderer Apparat, um dieſe Erſcheinungen hervorzubringen, iſt nicht nöthig. In ein Gefäß mit ebenen Glaswänden (Fig. 324) gieße man Waſſer, dann leite man mittelſt des Helioſtats ein dünnes Lichtbündel ins dunkle Zimmer und gebe ihm eine um wenige Grade nach Oben gerichtete Neigung, ſtelle das Gefäß ſo auf ein Stativ, daß das Lichtbündel eine Seitenfläche trifft. Iſt cd dieſes einfallende Lichtbündel, ſo wird es beim Eintritt ins Waſſer etwas nach Unten gebrochen und fällt unter einem ſehr kleinen Winkel Aed bei e auf die Waſſeroberfläche AD. Mit dem Einfallsloth xz macht der Strahl de einen großen Winkel dez; der Brechungswinkel in der Luft müßte nun aber

noch größer sein und würde nach dem Brechungsgesetz so groß werden, daß der Strahl unterhalb der Grenzfläche eD fallen müßte. Statt gebrochen zu werden wird er nach dem katoptrischen Gesetz unter gleichem Winkel nach f reflectirt, endlich bei seinem Uebergang in die Luft bei f nach Unten gebrochen. Ein Auge in g sieht die zum Heliostat führende Oeffnung in der Fensterlade, von wo der Strahl cd ausgeht, in der Richtung gf in h. Oberhalb der Wasserfläche AD ist von diesem Lichte Nichts zu sehen.

Muß man künstliches Licht anwenden, so stellt man bei c eine Metallplatte mit einem kleinen Diopter und dahinter eine Lichtflamme

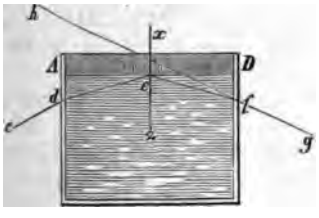


Fig. 324.

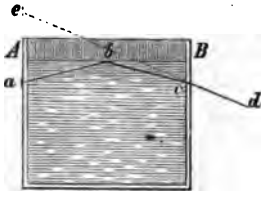


Fig. 325.

auf und bringt das Auge bei g an, so wird man die helle Oeffnung bei h erblicken.

Noch in anderer Weise stellt man diesen Versuch mit einem eben solchen Gefäße an, indem man bei a (Fig. 325) ein Streifchen Papier mit Wasser wenig unter der Oberfläche AB an die Außenseite des Glases klebt; ein Strahl ab, der sehr schief auf AB fällt, wird unter gleichem Winkel nach c reflectirt, dort nach d gebrochen, und ein Auge in d erblickt das Bild des Papiers a in e.

In ein Glas mit Wasser (Fig. 326) stelle man ein Reagenzröhrchen ab, in welches man, um es zu beschweren und untergetaucht zu halten, etwas Quecksilber gegossen hat. Sieht man dann aus der Gegend von o schief auf das Röhrchen bei c, so erscheint dasselbe glänzend wie ein Spiegel, weil das von e aus darauf fallende Licht, welches bei d noch gebrochen wird, nicht ins Röhrchen selbst eindringen kann, da im Inneren sich ein weniger brechender Körper (Luft) befindet und der Einfallswinkel dieser Strahlen größer ist als der Grenzwinkel des möglichen Eindringens. Der Glanz verschwindet, sobald man Wasser ins Röhrchen gießt. Steckt man irgend einen Körper ins leere Röhrchen, so ist derselbe, so weit außen das Wasser reicht, von Außen nicht zu sehen.

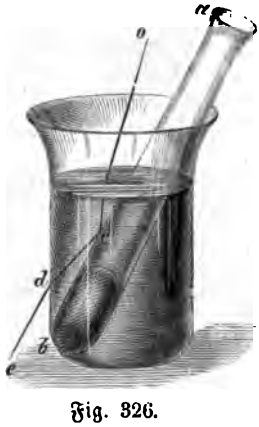


Fig. 326.

Daß das Röhrchen, so weit es im Wasser steckt, dicker erscheint, wie unsere Figur nachweist, ist einfach aus (Fig. 327) zu ersehen. Die Linie A B wird einem Auge in O sichtbar durch Strahlen, die zwischen A E und B F auf die Wasseroberfläche fallen; sie werden an dieser gebrochen und das Auge erblickt die Endpunkte A, B in der Richtung der Strahlen O E, O F, die den Gesichtswinkel E O F oder C O D geben, während A B diesem Auge, wenn kein Wasser da wäre, unter dem kleineren Winkel A O B erschiene.

Ein anderes Beispiel der totalen Reflexion bietet ein gleichschenklig rechtwinkeliges Glasprisma A B C (Fig. 328) dar. Der Strahl S a fällt senkrecht auf die Fläche A B, geht also ungebrochen nach b fort, fällt hier unter dem Winkel α von 45° auf; nun ist der Grenzwinkel der Brechung bei Crownglas 40° 49′; also kann der Strahl S b in b

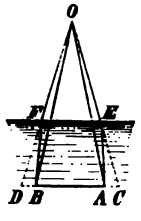


Fig. 327.

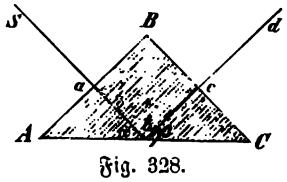


Fig. 328.

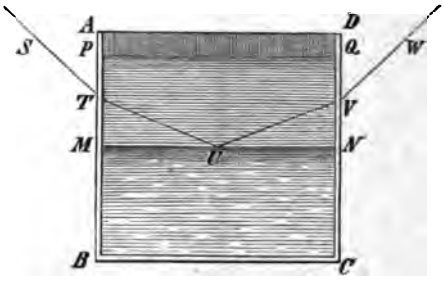


Fig. 329.

nicht gebrochen werden, nicht durch die Prismenfläche A C in die Luft übergehen; er wird daher total reflectirt; dies geschieht unter dem dem Winkel α gleichen Winkel β, also unter 45°. Da der Winkel bei C auch 45° beträgt, so fällt er senkrecht auf die Fläche B C und geht bei c ungebrochen fort nach d. Ein solches Prisma wird bei verschiedenen Instrumenten häufig gebraucht, wenn man Lichtstrahlen ungeschwächt um 90° in ihrer Richtung drehen will.

In ein Gefäß mit ebenen Wänden A B C D (Fig. 329) fülle man Wasser bis zur Höhe M N und gieße darauf Petroleum bis P Q. Wasser hat den Brechungsexponenten 1,33, Petroleum den größeren 1,5. Leitet man in die obere Flüssigkeitsschicht einen Strahl S T, so wird er bei T nach U gebrochen, wird hier total reflectirt und gelangt nach V und W.

Schwefelkohlenstoff hat den Brechungsexponenten 1,644, bricht also das Licht viel stärker als Wasser, und ist schwerer als dieses. Bringt man beide Flüssigkeiten in ein Gefäß und läßt einen Strahl schief aufwärts in den (unteren) Schwefelkohlenstoff eintreten, so wird der Strahl

nicht ins Waſſer übergehen können, ſondern durch totale Reflexion wieder ſchief abwärts gerichtet werden.

Auf der totalen Reflexion in einem Glasprisma beruht Wollaſton's camera lucida, welche durch (Fig. 330) vorgeſtellt iſt. Es iſt nämlich pp' ein vierſeitiges Glasprisma, deſſen ſenkrechter Durchſchnitt a b c d (Fig. 331) iſt. Von den vier Seitenflächen bilden zwei bei a einen

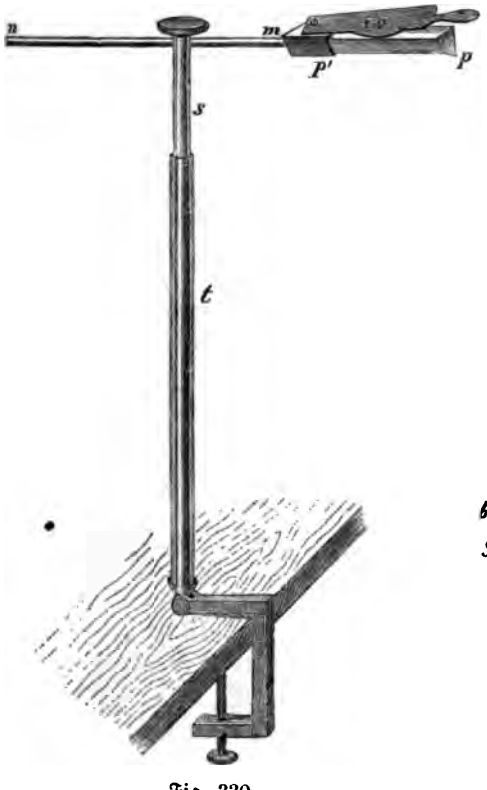


Fig. 330.

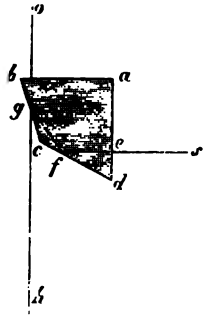


Fig. 331.

rechten Winkel, die beiden andern bei c einen Winkel von 135°, während die Winkel bei b und d gleich oder ungleich gemacht werden können. Das Prisma hat an der einen Grundfläche q' eine meſſingene Faſſung, womit es am Stativ befeſtigt wird, das ſeinerſeits an eine Tiſchplatte angeſchraubt werden kann. Das Prisma iſt am Stativ um die horizontale Achſe mn (Fig. 330) drehbar. An die Faſſung des Prismas iſt ein geſchwärztes Meſſingplättchen i durch eine Schraube, alſo drehbar befeſtigt; gegen den Beobachter zu hat das Plättchen an einem vorſtehenden Theil

eine kleine Oeffnung i, die beim Gebrauche so gerichtet wird, daß sie zur Hälfte über der Prismenfläche liegt, zur anderen Hälfte darüber vorragt. Richtet man die Fläche a d (Fig. 331) gegen gut erleuchtete Gegenstände, so gehen die auf a d auffallenden Lichtstrahlen wie s e f g o fort, indem sie in f und g total reflectirt werden. An der Ecke b fallen sie senkrecht auf, gehen also ungebrochen durch, gehen auch durch die Oeffnung in der Platte i, und gelangen endlich ins Auge o, das nun die Gegenstände, die in der Richtung e s liegen, in der Richtung o g h sieht. Legt man unter das Prisma ein weißes Blatt Papier auf den Tisch und bringt das Auge bei o so an, daß es durch die Oeffnung die total reflectirten Strahlen empfängt, aber zugleich auch nach der Stelle des Tisches sieht, wohin der Strahl o g und alle benachbarten Bilder der Gegenstände, die sich in der Richtung e s befinden, projicirt werden, so kann man mit einem Zeichenstift die Bilder nachzeichnen. Da sich der Stab s in dem unteren Theil t mit Reibung verschieben läßt, so kann der Apparat für den Zeichner so gestellt werden, wie es ihm gerade am bequemsten ist.

8. Brechung im Prisma.

In der Dioptrik werden meist nur dreiseitige Glasprismen gebraucht, wie (Fig. 332) eines darstellt. Die Grund- oder Endflächen

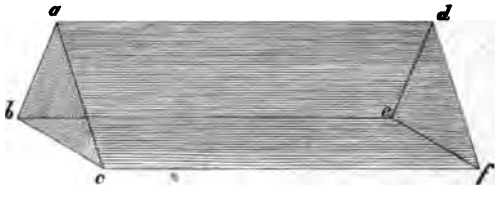


Fig. 332.

a b c, d e f sind senkrecht gegen die Kanten geschliffen; eine der Flächen wird in der Regel matt geschliffen oder mit einem undurchsichtigen Firniß überzogen; die anderen beiden bilden den brechenden Winkel, der verschiedene Größe haben kann; man gebraucht Prismen von 20°, 30°, 60°, etc. brechendem Winkel. Das Glas muß rein und ohne Streifen (Schlieren), die Flächen sollen sorgfältig eben geschliffen sein. Man gebraucht Crown- und Flintglasprismen; dieses bricht stärker als jenes; wo es darauf ankommt, möglichst starke Brechung hervorzubringen, wird man Flintglas wählen. Andere Zwecke der verschiedenen Glasarten werden wir weiterhin kennen lernen.

Da mit der Brechung des Lichts allemal auch die Farbenzerstreuung auftritt, so wird man sofort auch über diese einen Versuch anstellen müssen, der beide Erscheinungen deutlich zeigt. Hiezu dient der Apparat (Fig. 333). Der Stab A läßt sich unten in ein hohles Stativ,

wie wir solche schon wiederholt durch Zeichnung dargestellt haben, stecken, bei a ist ein Charnier, in welchem der Oberkörper sich in der Verticalebene nach der einen oder anderen Seite drehen läßt, bei b dagegen geschieht die Drehung in der Horizontalebene. An dem bei c rechtwinklig gebogenen Arm b c d stecken nun die Prismen mit einem Arm der Fassung in der Hülse d und sind somit um eine horizontale Achse drehbar. Es sind zwei Doppelprismen e und f, erstere in (Fig. 334) durch e und e', letztere in (Fig. 335) durch f und f' besonders dargestellt. Von den Prismen e, e' ist e ein Crownglas-, e' ein Flintglasprisma, α und β, die beiden brechenden Winkel, sind so gewählt, daß sie zusammen ein farbloses Bild geben, die Brechung dann zwar vermindert, jedoch nicht ganz aufgehoben; f und f' sind zwei Crownglasprismen mit

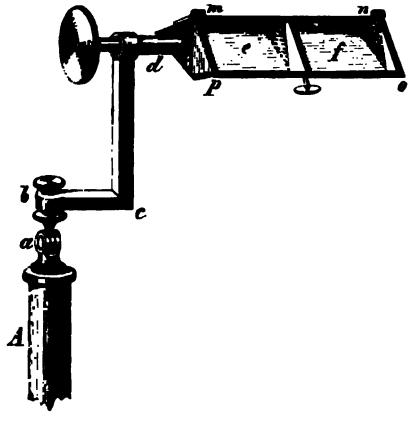


Fig. 333.

Fig. 334.

Fig. 335.

gleichen brechenden Winkeln; jedes Paar wird so zusammengestellt, daß die brechenden Winkel nach entgegengesetzten Seiten zu liegen kommen; bei f, f' stehen sich also zwei parallele Flächen gegenüber. Das Prisma e und das Prisma f sind, wie (Fig. 333) zeigt, neben einander in einen Messingrahmen gefaßt, ebenso die Prismen e' und f', letztere in den Rahmen m n o p, der erstere ist von diesem größtentheils verdeckt. Beide Rahmen hängen zusammen in den Charnieren m und n, in welchen sie sich drehen lassen, so daß man jedes Prisma einzeln, oder e und e' zusammen, und f, f' zusammen gebrauchen kann.

Auf diese Prismen läßt man im dunkeln Zimmer einen dünnen Strahl vom Helioſtat fallen und fängt ihn in einiger Entfernung auf einem weißen Schirm auf; jedes Prisma allein zeigt Brechung und Farbenzerstreuung; erstere ist bei e stärker als bei e', die Farbenzerstreuung ist bei beiden von gleicher Größe, beide natürlich nach entgegengesetzter Richtung; zusammen geben e und e' Brechung, aber keine Farben-

zerstreuung. Die Prismen f, f' geben Brechung und Zerstreuung gleich groß, wenn man sie einzeln gebraucht; zusammen geben sie ein ungebrochenes, farbloses Bild. Diese Versuche geben objective Bilder, die alle Anwesenden zugleich betrachten können.

Die subjective Erscheinung erhält man, wenn man das durch das Prisma gegangene Licht mit dem Auge auffängt; es sieht also hiebei die Erscheinung zur Zeit nur Einer. Man wird auf diese Art, den Versuch anzustellen, beschränkt, wenn kein directes Sonnenlicht zu haben und man auch nicht im Besitze der Mittel ist, ausreichend helles künstliches Licht zu erzeugen. Zu bemerken ist, daß wenn das Licht durch das Prisma nach einer Seite abgelenkt wird, das subjective Bild nach der entgegengesetzten Seite verschoben erscheint.

Will man zur Zeit Versuche blos über die Brechung, mit Ausschluß der Farbenzerstreuung anstellen, so wird man sich der Prismen e, e' in Verbindung mit einander bedienen; sie bilden so ein achromatisches Prisma.

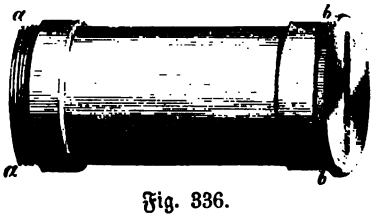


Fig. 336.

Um den durch den Heliostat eingeleiteten Strahl von der verlangten Form zu bekommen, bedarf man noch einer entsprechenden Vorrichtung. In der kreisrunden Oeffnung der Heliostatplatte ist gewöhnlich eine Mutterschraube eingeschnitten, weil derselbe doch zur Anbringung des Sonnenmikroskops eingerichtet wird. Hier setzt man nun ein Messingrohr ein, wie (Fig. 336), wo bei a a die entsprechende Schraube geschnitten ist. Ueber das andere Ende des Rohrs wird eine Messinghülse b b gesteckt, in deren Deckplatte die verlangte Oeffnung angebracht ist. Für jede Art der Oeffnung muß man eine besondere Hülse haben; in der Zeichnung hat sie einen schmalen Spalt, andere werden engere und weitere Spalten, engere und weitere runde Oeffnungen u. s. w. enthalten. Statt verschiedener Hülsen mit Spalten kann man auch eine Platte mit veränderlichem Spalt, wie sie oben (Fig. 321 oder 322 S 311) beschrieben worden, so einrichten, daß sie sich auf das Rohr der (Fig. 336) aufschieben läßt, was durch ein aufgelöthetes kurzes Rohr leicht zu machen ist.

Mit dem oben beschriebenen achromatischen Prisma kann man auch den Versuch über die kleinste Ablenkung des Strahls machen. Da das Prisma nach allen Seiten drehbar ist, so kann man es auch so stellen, daß die Kanten desselben vertical stehen. Diese Stellung ist der horizontalen vorzuziehen, weil dann der Strahl blos seitwärts abgelenkt wird und mit dem Prisma in gleicher Höhe bleibt, dahingegen bei der horizontalen Stellung der Prismenkanten in die Höhe gehoben wird, das Bild also eine zur Beobachtung unbequeme Lage bekommt. Fällt nun ein dünner Strahl vom Heliostat auf eine Prismenfläche, so bemerke

man, wohin das Bild auf dem zum Auffangen bestimmten Schirm fällt, drehe das Prisma in der Horizontalebene nach der einen und anderen Seite herum, so lange, bis eine Drehung nach Rechts sowohl, als auch eine Drehung nach Links die Ablenkung vergrößert. Dies ist dann die Stellung für das Minimum der Ablenkung. Man wird dann finden, so weit dies ohne Messung, mit dem bloßen Augenmaße möglich ist, daß der einfallende und der zweimal gebrochene Strahl mit den brechenden Flächen gleiche Winkel machen. Ist das Prisma gleichschenklig, so geht der Strahl innerhalb des Prismas parallel mit der Rückfläche.

Ehe man im Studium der Brechung weiter fortschreitet, wird man immer schon eine klare Anschauung von der Farbenzerstreuung haben müssen, weil diese eben bei jeder Brechung auftritt und aus den Erscheinungen oft nicht zu eliminiren ist. Es handelt sich also darum, das Newton'sche Farbenspectrum so rein als möglich darzustellen. Man bediene sich dazu eines Flintglasprismas, weil dieses stärker zerstreut, also die Farben weiter aus einander bringt, als Crownglas; der brechende Winkel des Prismas sollte etwa 60° betragen. Das Prisma versehe man an der einen Endfläche mit einer Metallfassung, an der sich noch ein auf dieser Fläche senkrechtstehender Stiel befindet, in welchen eine Schraube geschnitten ist; hiemit befestige man das Prisma P (Fig. 337) auf dem horizontalen Seitenarm A B eines festen Stativs, indem man von Unten eine Mutter auf die Schraube

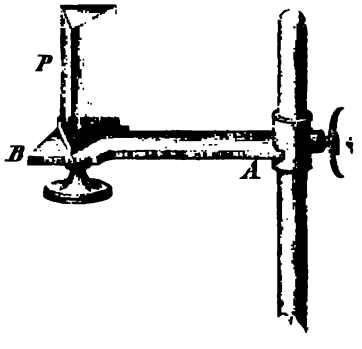


Fig. 337.

setzt und anzieht, so daß man das Prisma zwar in der Horizontalebene herumdrehn kann, daß es aber sonst gegen jede andere Bewegung gesichert ist. Dies ist wichtig, weil man den Versuch im Dunkeln anstellt, wo man leicht unversehens dagegen stoßen könnte.

Mit dem so vorgerichteten Prisma stelle man den Versuch in folgender Weise an. A B (Fig. 338) stelle die äußere Zimmerwand, resp. Fensterlade im Grundriß vor, D C den vom Heliostatspiegel kommenden horizontalen Strahl, C das Diaphragma in der innerhalb des sonst ganz verdunkelten Zimmers angebrachten Spaltplatte P das senkrecht gestellte Prisma, S T den auffangenden weißen Schirm, Alles im Grundriß, so wird der bei E auf das Prisma fallende Strahl in demselben nach F gebrochen und bereits in ein divergirendes Bündel zerstreut; bei F, wo er das Prisma verläßt, wird er abermals nach derselben Seite gebrochen und noch stärker divergent gemacht; bei seinem Durchgang durch den dunkeln Raum sieht man bereits die Theile des fächerförmigen Bündels verschieden gefärbt, auf dem Schirm S T aber bildet sich ein breiter farbiger

Streifen, der an den Enden H und J von halbkreisförmigen, an den Längsseiten von geraden Linien begrenzt ist. S'T' stellt den Schirm von der dem Fenster zugekehrten Seite vor, H'J' die Form des Spectrums darauf. Entfernt man das Prisma auf einen Augenblick, so erscheint in der geraden Linie D E bei G ein rundes Sonnenbild ohne Farben, wie G' solches zeigt. Man kann nun, nachdem das Bild HJ erzeugt, das Prisma auf seiner Unterlage um die Achse drehen, um es in die Lage der kleinsten Ablenkung zu bringen; in der Zeichnung hat es diese Lage noch nicht. Die Breite und Länge des Spectrums hängt von der Entfernung des Schirms vom Prisma ab. Man sollte diese so groß nehmen, als die Oertlichkeit es gestattet, da die Farben um so

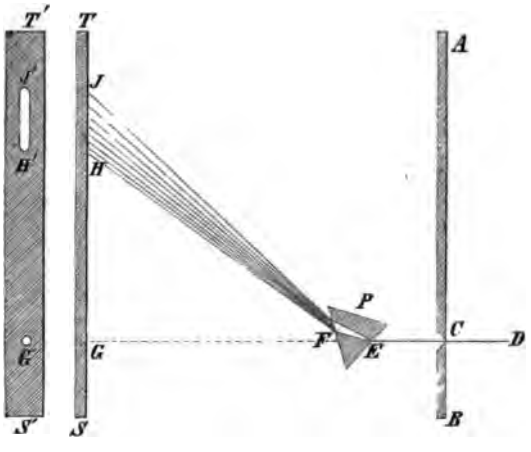


Fig. 338.

deutlicher aus einander heraustreten, je weiter vom Prisma sie aufgefangen werden.

Um die Brechung des Lichts in **tropfbaren Flüssigkeiten** nachzuweisen und überhaupt Brechungsversuche mit tropfbaren Flüssigkeiten anzustellen, muß man sie in ein Hohlprisma schließen. A B (Fig. 339) stellt das Prisma vor, dessen ich mich zu solchen Versuchen bediene. Es vereinigt zwei Prismen in sich, so daß man gleichzeitig zweierlei Flüssigkeiten einfüllen und dem Versuche unterwerfen kann. Der prismatische Glaskörper, dessen eine Endfläche A ist, ist senkrecht zur Kante C D des brechenden Winkels, bei a und b, zweimal durchbohrt; die Bohrungen werden durch parallel geschliffene Glasplatten gedeckt und diese durch Metallfedern m n p und m' n' p', die durch Schrauben angedrückt werden, festgehalten. Von Oben ist der Glaskörper nochmals bis zur Querbohrung eingebohrt; die Oeffnungen werden durch eingeschliffene Glasstöpsel E, E' verschlossen. Die Flüssigkeiten werden durch diese letzteren Bohrungen eingefüllt. Der Apparat wird auf einem Ständer

S aufgestellt und mittelst des Knopfes V gerichtet. Diese vom Mechaniker Meyerstein herrührende Construction ist ganz vorzüglich, weil zur Befestigung der planparallelen Platten keinerlei Kitt verwendet wird. Wenn nur die Glasflächen sorgfältig eben geschliffen sind, so schließen sie bei nur einigem Druck der Messingfedern ausreichend. Nach dem Gebrauche müssen die die Flüssigkeiten enthaltenden Höhlungen sorgfältig gereinigt, zuletzt mit destillirtem Wasser ausgespült werden. Falls die Reinigung nicht anders zu bewerkstelligen ist, muß man die Schrauben lösen, die Deckplatten abnehmen und jedes Stück einzeln reinigen.

Füllt man in die eine Höhlung Wasser, in die andere Schwefelkohlenstoff oder irgend eine andere Flüssigkeit, so kann man schnell hinter einander auf dem Schirm die Ablenkung, welche beide Flüssigkeiten bewirken, sichtbar machen; ja, man gewinnt durch einfache Versuche ein

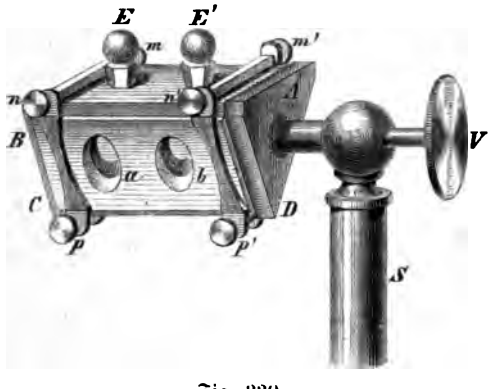


Fig. 339.

Mittel, auf diesem Wege das Brechungsverhältniß der Flüssigkeiten zu finden; dasselbe Verfahren ist dann natürlich zu gleichem Zweck auch auf feste Körper anwendbar, wenn man diese zu Prismen gestaltet hat. Das Brechungsverhältniß läßt sich nämlich aus dem brechenden Winkel des Prismas a und dem Ablenkungswinkel des Strahls berechnen (s. mein Lehrbuch p. 212); es kommt also nur darauf an, diese beiden Winkel genau zu messen. Den brechenden Winkel des Prismas findet man dadurch, daß man auf den drei Seitenflächen die Durchschnittslinien einer senkrecht gegen die Kanten hindurchgelegten Ebene aufzeichnet, mit dem Zirkel ihre Längen mißt und nach einem genauen Maßstab in Zahlen ausdrückt, dann aus diesen Dreiecksseiten den brechenden Winkel trigonometrisch berechnet. Falls die Endflächen regelmäßig geschliffen sind, geben diese selbst die Durchschnittsfigur.

Um den Ablenkungswinkel des gebrochenen Strahls zu finden, muß man zwei Schirme in 3 — 4m Abstand vom Prisma so aufstellen, daß ihre Vorderflächen in eine Verticalebene fallen, welche senkrecht zu

dem horizontalen, direct vom Helioſtat ins Zimmer tretenden Lichtſtrahl ſteht. Man entferne alſo das Prisma aus der Richtung des eintretenden Strahls und ſtelle den Schirm ſenkrecht zu dieſem Strahl. Man hat dieſer Forderung genügt, wenn durch eine kleine kreisrunde Oeffnung im Helioſtat auf dem Schirm ebenfalls ein kreisförmiges Bild erzeugt wird, denn eine ſchiefe Stellung des Schirms würde dieſes Bild oval machen. Will man dem Augenmaß nicht trauen, ſo meſſe man zwei auf einander ſenkrechte Durchmeſſer des Bildes und ändere die Stellung des Schirms, bis der Forderung genügt iſt. Nun gebe man dem Prisma dicht innerhalb der Oeffnung in der Fenſterlade in der in (Fig. 337) dargeſtellten, ſenkrechten Aufſtellung durch Drehung um ſeine Achſe diejenige Lage, in welcher der darauf fallende Strahl das Minimum der Ablenkung erfährt, und ſtelle den zweiten Schirm in der Gegend des Zimmers, wo das Farbeſpectrum hinfällt, mit dem erſten in eine Ebene. Das Prisma, das directe und das prismatiſche Bild ſind nun Eckpunkte eines rechtwinkligen Dreiecks. Die Bilder ſind aber nicht einfache Punkte, ſondern ausgedehnte Flächen, und es frägt ſich, welche Punkte dieſer Flächen man als Eckpunkte des Dreiecks zu betrachten habe. Der Punkt am Prisma macht keine Schwierigkeit; das directe Bild iſt ein Kreis, in deſſen Mittelpunkt die Senkrechte vom Prisma fällt; man wird alſo dieſen Mittelpunkt zu nehmen haben. Rückſichtlich des prismatiſchen Bildes kann man natürlich jede Stelle einer jeden Farbe in Rechnung ziehen und die Ablenkung gerade dieſer gewählten Stelle des Spectrums beſtimmen. Als ſolche Punkte hat man die verſchiedenen Fraunhoferſchen Linien gewählt; ſo z. B. fällt die Linie F faſt in die Mitte des Hellblau und bezeichnet ungefähr die Mitte des ganzen Spectrums; die Linie D fällt in die Grenze zwiſchen Gelb und Orange. Heißt die Entfernung des Mittelpunkts des directen Bildes von der gewählten Stelle des Spectrums a, der Abſtand des Prismas vom directen Bilde b, der Ablenkungswinkel x, ſo iſt $tg\,x = \frac{a}{b}$. Es müſſen alſo die Linien a und b gemeſſen werden, um den Winkel x daraus zu beſtimmen.

Iſt man im Beſitz eines Theodoliten, ſo kann man nach der von Fraunhofer befolgten Methode verfahren und erſpart dabei die immer unſicheren Linienmeſſungen. Der brechende Winkel des Prismas muß eben ſo, wie oben angegeben, beſtimmt werden. Um aber den Ablenkungswinkel für eine beſtimmte Stelle des Spectrums zu finden, richtet man das Fernrohr des Theodoliten auf einen entfernten hellen Punkt und lieſt die Angabe des Nonius ab. Am zweckmäßigſten macht man den Verſuch im dunkeln Zimmer und nimmt als hellen Punkt die Oeffnung, durch welche ein Lichtſtrahl vom Helioſtat ins Zimmer geſendet wird; ſtatt einer kreisförmigen Oeffnung dürfte man hier jedoch noch beſſer einen ſehr ſchmalen verticalen Spalt gebrauchen, wenn nur der Helioſtatſpiegel eine metalliſche Fläche hat, damit nicht mehrfache Bilder erſcheinen. Man ſtellt dann das Fernrohr ſo ein, daß man durch daſſelbe den Spalt deutlich ſieht und dieſer durch den

verticalen Faden des Fadenkreuzes gerade gedeckt wird. Ist dies erreicht, so lese man am Nonius das Azimuth des Fernrohrs ab. Um nun auch den durch das Prisma abgelenkten Strahl ins Fernrohr zu bekommen, muß an diesem zur Aufstellung des Prismas noch eine besondere Vorrichtung angebracht werden. Auf das Objectivende des Fernrohrs wird ein Ring A B (Fig. 340) geschoben, der eine horizontale Platte C D trägt, auf welcher das Prisma P gerade so, wie in (Fig. 337) aufgestellt wird. Die Schraube S dient zur Feststellung. Nachdem das Prisma auf die Platte vor dem Objectiv aufgesetzt, wird der vom Spalt herkommende Strahl auf eine Fläche desselben treffen, aber nicht mehr in das Rohr hineingehen; man muß nun das Fernrohr und das Prisma so drehen, daß erstlich der Strahl im Prisma die kleinste Ablenkung erfährt und zweitens nach der Brechung gerade mit der Fernrohrachse zusammenfällt. Dies wird einige Versuche kosten, da eine Drehung des Fernrohrs immer

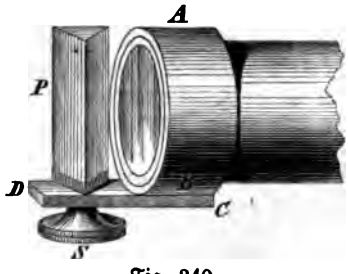


Fig. 340.

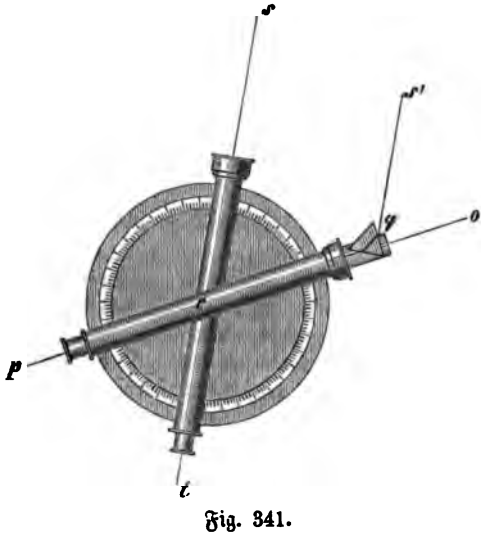


Fig. 341.

wieder eine Drehung des Prismas, eine Drehung des Prismas dann abermals eine Drehung des Fernrohrs erfordert; wenn man sich die Mühe nicht verdrießen läßt, so gelangt man indeß zuletzt doch zum Ziel. Haben Fernrohr und Prisma die verlangte Stellung erreicht, so liest man den Nonius am Limbus abermals ab. (Fig. 341) stellt den Apparat

im Grundriß vor; t s sei die erste, auf den Spalt s gerichtete Lage des Fernrohrs, q o die letzte, c die Drehachse des Fernrohrs am Theodolit, s'q der auf das Prisma fallende und nach p gebrochene Strahl, welcher von den vielen Farbenstrahlen des gebrochenen Lichtbündels gerade dem Versuche unterworfen wird. Ist der Winkelmesser mit dem Prisma so weit vom Spalt, daß q s' als mit t s parallel angesehen werden kann, so ist der Winkel o q s' = p c t, also dann p c t die gesuchte Ablenkung des Strahls. Findet aber die Parallelität zwischen q s' und t s nicht statt, so ist der Winkel s'q o um den Winkel, welchen t s mit q s' macht, größer als s c o oder p c t; also muß dann die Differenz der beiden Ablesungen noch um den genannten Winkel (zwischen t s und q s' vermehrt werden, um die wahre Ablenkung zu erhalten.

9. Sphärische Linsen.

Bei der Anschaffung von Linsen, wird man dieselbe Vorsicht walten lassen, die oben bei den Prismen empfohlen wurde. Zu den Versuchen mit Linsen dient hauptsächlich der Apparat, den wir oben S. 291 unter

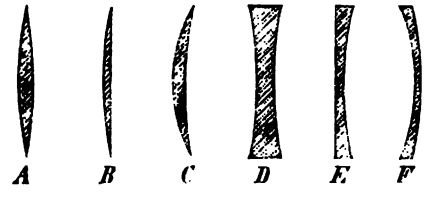


Fig. 342.

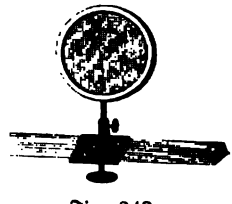


Fig. 343.

dem Namen des offenen Fernrohrs beschrieben und in Fig. 302 darstellten. Wir nennen ihn künftig die Prismenstange oder prismatische Stange.

Es müssen in einer zum Unterricht bestimmten Sammlung die sechs Arten Linsen vorhanden sein. (Fig. 342) stellt unter A die biconvexe, unter B die planconvexe, unter C die concavconvexe, unter D die biconcave, unter E die planconcave, unter F die convexconcave Linse dar. Um ihre Form deutlich zu zeigen sind sie ohne Fassungen gezeichnet. Sie müssen aber alle mit Fassungen versehen werden und einen Stiel zum Aufstecken haben, wie (Fig. 343) eine solche auf der prismatischen Stange aufgestellt zeigt. Diese Linsen haben 2 — 3^{cm} Oeffnung und entsprechende Brennweiten, z. B. die biconvexe 7 — 8^{cm}. Man bedarf aber zu verschiedenen Zwecken auch einer größeren biconvexen Linse von 1^{dm} Oeffnung und etwa 30 — 35 ^{cm} Brennweite; diese wird in einen stärkeren Messingring gefaßt und gleich an die auf die prismatische Stange aufzusteckende Hülse gelöthet; sie dient besonders bei verschiedenen Versuchen zur Beleuchtung von Objecten, wozu sie sich gut eignet, weil sie viel Licht auf ihrer Fläche auffängt und im Brennpunkt vereinigt. Zur Darstellung der Mikroskope und der verschiedenen Arten der Fern-

röhre bedarf man noch anderer Linsen mit kleineren Brennweiten und Oeffnungen. Der Bequemlichkeit wegen werden diese etwas anders eingerichtet. Sie müssen nämlich mit ihrem Centrum in dieselbe Höhe über dem Prisma reichen wie das Centrum der oben erwähnten großen Linse. Es wird zu diesem Zweck an die Hülse II ein Arm A B (Fig. 344) so angeschraubt, daß er beliebig senkrecht gestellt oder seitwärts gedreht und aus der Verticalebene entfernt werden kann. Durch einen Anschlag gegen den Stift o ist jedoch die Bewegung auf einen Quadranten beschränkt. Oben trägt dieser Arm einen Ring C, in welchen die Fassungen der Linsen eingeschraubt werden können; bei senkrechter Stellung des Arms erreicht die Linse genau die Höhe des Centrums der größeren Linse. Die Fassungen der Linsen haben dieselbe Weite und gleiche Schraubengewinde, so daß jede derselben auch in jeden der erwähnten Arme paßt. Unter diesen Linsen befinden sich gerade solche, wie sie zur Zusammenstellung zu Mikroskopen und Fernröhren erforderlich sind.

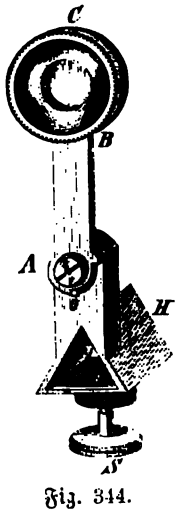


Fig. 344.

Um von irgend einer Convexlinse den Brennpunkt zu bestimmen, stellt man sie gerade über einem Theilstrich des Prismas auf, auf einer anderen Hülse befestigt man einen kleinen weißen Schirm (ein Stück Cartonpapier) und leitet directes Sonnenlicht parallel mit dem Prisma auf die Linse; schiebt man dann den Schirm hin und her, so wird man bald eine Stelle finden, wo das kleine Sonnenbild auf dem Schirm am deutlichsten ist. An dieser Stelle schraube man die Hülse fest und lese von der Stange die Entfernung des Schirmes von der Linse ab; dieses ist die Brennweite der Linse. Das Instrument gestattet, bei jeder Höhe der Sonne, durch das Gelenk im Ständer, die Stange parallel mit den Sonnenstrahlen zu richten. Indessen könnte man auch ein größeres Bündel Sonnenstrahlen durch den Heliostat horizontal ins Zimmer leiten und die Linse auf der horizontalen Prismenstange in die Richtung dieses Bündels bringen. Muß man sich bei diesem Versuche mit künstlichem Licht begnügen, so sollte dieses wenigstens sehr weit entfernt von der Linse aufgestellt werden, um doch annähernd parallele Strahlen zu erhalten.

Besser ist es indeß bei künstlichem Licht die Brennweite nach der bekannten Formel $\frac{1}{F} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$, wo F die Brennweite, a die Objects-, α die Bildweite bedeutet, zu bestimmen. Es kann der betreffende Versuch auch auf der Prismenstange angestellt werden. Man setzt die Linse etwa in der Mitte auf, auf einem zweiten Schieber bringt man eine Lichtflamme so an, daß ein wirkliches Bild entsteht, jenseits des Glases, da wo das Bild ist, einen kleinen Schirm auf einem dritten Schieber, schiebt die Linse oder das Object so lange nach der einen

und anderen Seite, bis man ein deutliches Bild hat, liest die Größen a und α von der getheilten Stange ab und berechnet F nach der Formel. Wählt man a oder α so weit, daß die Stange nicht ausreicht, so muß man die bei den Spiegeln erwähnte, auf dem Tisch gezogene gerade Linie zur Aufstellung der Stative benutzen.

Läßt man die kreisförmige Oeffnung in der Heliostatplatte ganz frei, und fängt den durchgehenden Lichtcylinder durch eine convexe Linse auf, so kann man in dem im Uebrigen verfinsterten Zimmer hinter dem Glase den Brennpunkt durch das Zusammentreffen der gebrochenen Strahlen deutlich sehen; vor dem Brennpunkte convergiren, hinter demselben divergiren sie; sie müssen sich also im Brennpunkte durchkreuzen.

Auf der Prismenstange kann man auch die virtuelle Brennweite einer concaven Linse bestimmen. Man setzt die Linse auf das Prisma,

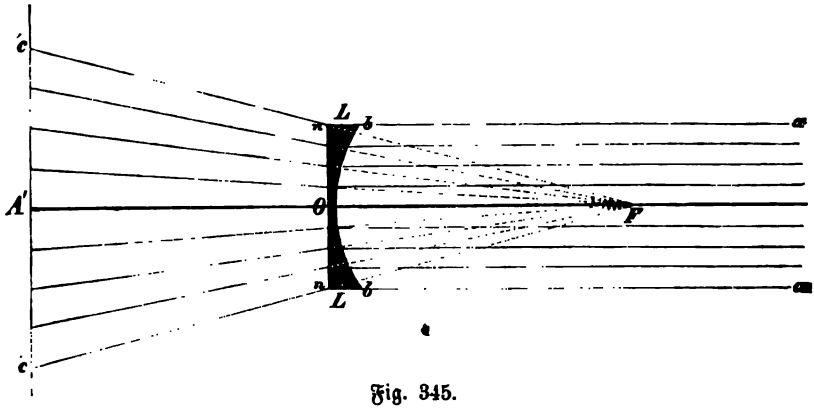


Fig. 345.

läßt parallel mit der Stange Sonnenlicht auffallen und fängt es hinter der Linse mit einem Schirm auf, der hier etwas größer sein muß; es bildet einen erleuchteten Kreis, in dessen Mitte sich ein dunkler Kreis befindet; man rückt dann den Schirm gerade so, daß der Durchmesser des Kreises auf dem Schirm doppelt so groß wird als der Durchmesser der Linsenöffnung; der dann stattfindende Abstand des Schirms von der Linse ist die virtuelle Brennweite dieser letzteren. LL (Fig. 345) ist eine planconcave Linse, AA ihre Achse, ab, ab sind parallele, auffallende Strahlen, die nach c, c zerstreut werden. Ist nn die Oeffnung der Linse, und cc = 2. nn, so ist A'O die Größe der Brennweite; vor der Linse nach F hin aufgetragen, liefert OF = A'O den virtuellen Brennpunkt F. Daß man bei diesen Versuchen Linse und Schirm festaufstellen muß, ist wohl selbstverständlich. Man kann auch die Linse mit Kartonpapier bedecken, in welches man ein oder mehrere Paar symmetrisch um die Achse liegende, kleine Löcher gebohrt hat. Wenn Linse und Schirm eine solche Entfernung haben, daß die Entfernung

zweier Bilder auf dem Schirm doppelt so groß ist als die Entfernung der entsprechenden Löcher, so ist die Entfernung des Schirmes von der Linse der virtuellen Brennweite gleich.

Auch zu den Versuchen, welche die Luftbilder durch Brechung in convexen Linsen zeigen, dient unsere Prismenstange. Man wird aber hiezu nicht zu kleine Linsen wählen; die oben erwähnte biconvexe Linse von etwa 30—35 cm Brennweite wird hiezu sehr zweckmäßig zu brauchen sein. Man setzt die Hülse mit der Linse auf einen Theilstrich der Prismenstange, auf einer anderen Hülse bringt man eine Vorrichtung an, die ein kleines Wachslicht aufnehmen kann. Kennt man bereits die Brennweite der Linse (ist dies nicht der Fall, so muß man sie vor weiteren Versuchen bestimmen), so setzt man die als Object dienende Flamme der Wachskerze in den Brennpunkt, auf die entgegengesetzte Seite der Linse einen Schirm; bei der angegebenen Stellung der Flamme wird der Schirm, wo man ihn auf der Stange hinbringen mag, hell erleuchtet, aber es entsteht kein Bild. Entfernt man dann die Hülse mit dem Lichte aus

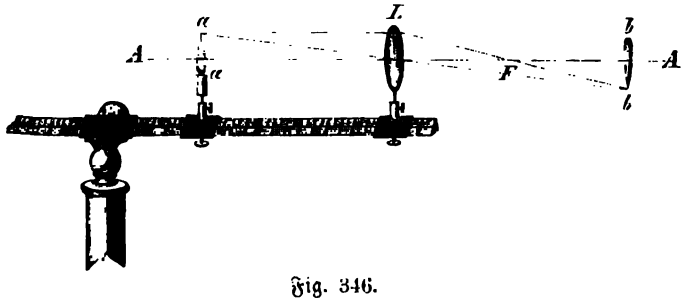


Fig. 346.

der Brennweite und setzt den Schirm ans Ende der Stange, so wird man auch eine Stelle für das Object finden, so daß auf dem Schirm ein vergrößertes, aber umgekehrtes Bild der Flamme entsteht. Je weiter man das Licht abrückt, desto näher muß man den Schirm heranrücken, damit auf demselben ein deutliches Bild entstehe. Befindet sich das Licht in der doppelten Brennweite vom Glase, so befindet sich das Bild eben so weit dahinter und ist eben so groß wie das Object. Bei größerer Entfernung des Objects ist das Bild näher am Glase als das Object und ist kleiner als dieses. Bei sehr großer Entfernung des Objects entsteht ein sehr kleines verkehrtes Bild im Brennpunkte; so z. B. von der Sonne. (Fig. 346) stellt einen der verschiedenen zu berücksichtigenden Fälle vor: L ist die Linse, AA ihre Achse, F der Brennpunkt, aa das Object, bb das verkehrte Bild.

Die sphärische Abweichung einer convexen Linse läßt sich auf der Prismenstange sehr bequem wahrnehmbar machen. Man stellt dicht hinter der Linse einen Schirm S (Fig. 347) auf; er besteht aus einer geschwärzten Messingplatte mit Stiel und hat etwa einen halb so großen Durchmesser als die Linsenöffnung. Der Schirm blendet alle Central-

strahlen ab, wenn man parallele Sonnenstrahlen auf das Glas fallen läßt. Auf einem zweiten auf das Prisma gestellten, weißen Schirm fange man die gebrochenen Strahlen da auf, wo sie sich zum kleinen Sonnenbilde vereinigen und bemerke an der Theilung der Stange die Stelle dieses Brennpunkts. Statt dieses Schirms setze man nun den zweiten S (Fig. 348) auf, der die Randstrahlen abblendet und nur centrale durchläßt; er besteht aus einem geschwärzten Metallringe, dessen äußerer Durchmesser dem der Linsenöffnung, der innere halb so groß ist. Nun schiebe man den weißen Schirm so weit hinaus, daß wieder das kleine Sonnenbild entsteht, und lese seine Entfernung vom Glase ab. Man bemerkt dann, daß die Vereinigungsweite der Randstrahlen kleiner ist als die der centralen.

Bei Anwendung directen Sonnenlichtes giebt der Versuch den Unterschied der Brennweiten, je nachdem man Rand- oder Centralstrahlen

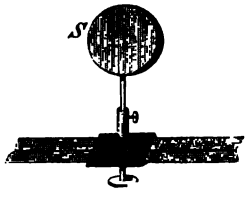


Fig. 347.

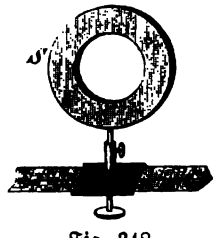


Fig. 348.

zuläßt. Wenn man gerade nicht darauf besteht, die Brennweiten der beiden Strahlengattungen zu erhalten, so kann man zu diesem Versuche auch künstliches Licht, eine Lampen- oder Gasflamme verwenden.

10. Farbenzerstreuung.

Der Newton'sche Versuch über Farbenzerstreuung ist oben schon in Bezug auf (Fig. 338) beschrieben worden. Zu bemerken bleibt noch, daß, um jede Farbe in ihrer richtigen Ausdehnung zu erhalten, der auffangende Schirm senkrecht zur Mittellinie des Spectrums gestellt werden muß. Diese Mittellinie ist aber die vom Prisma zur Mitte des Hellblau gezogene Gerade.

Zu weiteren Versuchen bedarf man eines Schirmes, der in der Höhe wenig größer zu sein braucht als das in der weitesten durch die Localität gestatteten Entfernung aufgefangene Farbenbild, dagegen sollte der Schirm etwa zweimal die Breite des Spectrums haben. In die Mitte dieses Schirmes schneide man einen senkrechten, etwa 3—5 mm breiten Spalt, dessen Länge der Breite des Spectrums ungefähr gleich ist. Ein zweiter Schirm, der übrigens nur klein zu sein braucht, wird zu folgendem Versuche noch bereit gehalten. Wenn AB (Fig. 349) die Fensterlade im dunkeln Zimmer im Grundriß, o eine feine Oeffnung oder Spalte in derselben (natürlich in einer geeigneten Spaltplatte an-

gebracht) vorstellt, so sei So ein vom Heliostatspiegel kommendes Strahlenbündel, wovon ein Theil durch o geht und auf das Prisma P fällt. Hier wird der Strahl von a nach b gebrochen und nach seinem Austritt nach bvr zerstreut. In möglichst großem Abstande vom Prisma P fange man ihn durch den erst erwähnten Schirm CD auf, so wird eine Farbe auf den Spalt c fallen und durchgehen; auf einem zweiten hinter CD aufgestellten Schirm erhält man ein Bild des Spalts in der durch den ersten Schirm durchgegangenen Farbe. Setzt man aber hinter den Spalt c ein zweites Prisma Q, welches das durchgegangene farbige Licht auffängt, so wird dasselbe in d und e zwar gebrochen, aber nicht zerstreut, d. h. die einzelnen Theile desselben gehen unter sich parallel fort und behalten die Farbe, die durch c hindurchgegangen, bei; der

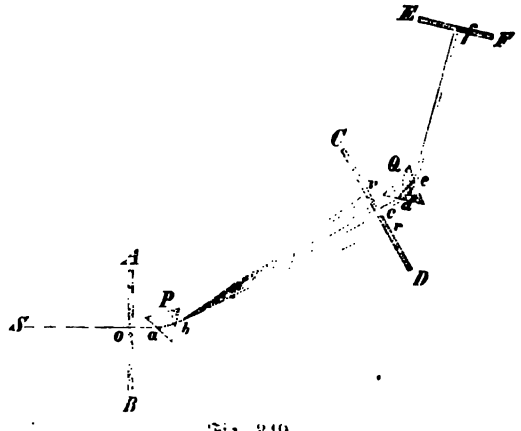


Fig. 349.

Strahl breitet sich nicht fächerförmig aus und wird nicht weiter in Farben zerlegt. Hat man rothes Licht auf den Spalt im Schirm CD fallen lassen, so erhält man ein rothes Bild u. s. w. Rückt man den Schirm CD so, daß nach und nach andere und andere Farben auf den Spalt c fallen, so erhält man auch auf dem Schirm EF Bilder in diesen Farben. Es wird noch einmal erwähnt, daß die Zeichnung die Erscheinung im Grundriß darstellt; da die Prismen vertical zu denken sind, so gehen also alle Ablenkungen in der Horizontalebene vor sich, wo dann die Bilder alle in gleicher Höhe, aber seitwärts abgelenkt, stets bequem aufzufangen sind. Der Versuch zeigt dann ferner, daß das durch c gegangene Licht durch das Prisma Q um so mehr abgelenkt wird, je weiter es vom rothen Ende des Spectrums ab liegt.

Man kann dieselbe Erscheinung noch auf andere Weise erreichen. Man stelle auf einem Schirm ein horizontales Spectrum dar und besehe es durch ein horizontal gehaltenes Prisma. Wenn man den brechenden Winkel des Prismas nach Unten richtet, so wird jede Farbe

tiefer erscheinen als im ursprünglichen Spectrum, und zwar um so tiefer, je weiter die betreffende Farbe nach dem violetten Ende zu liegt; von dem horizontalen Spectrum wird man dann ein schiefes Spectrum als Bild erblicken. Es ist zweckmäßig, auch das horizontale Prisma auf einem Stativ aufzustellen, um das Spectrum in voller Ruhe zu betrachten.

Um sämmtliche Spectralfarben wieder zu vereinigen, hat man verschiedene Mittel: 1) Durch eine biconvexe Linse. Man stelle das horizontale Spectrum dar, stelle die Linse in solcher Entfernung vom Prisma in das farbige Lichtbündel, daß sie alle Farben auffängt, und bringe einen Schirm in die Vereinigungsweite hinter der Linse. Es wird sich ein kleiner weißer Raum zeigen, an dem freilich seitwärts noch Spuren der einen oder anderen Farbe wahrnehmbar sind. 2) Durch den Hohlspiegel. Da der Vereinigungspunkt nach der Seite, wo die Strahlen herkommen, liegt, so darf man hier nur einen ganz kleinen Schirm anwenden, um nicht Licht vom Spiegel zurückzuhalten. 3) Durch rotirende farbige Sectoren. Auf eine kreisrunde Scheibe, die sich auf die Centrifugalmaschine schrauben läßt, lege man im Kreise herum die farbigen Sectoren und klemme sie in der Mitte durch eine auf die Achse gesetzte Mutter fest an. Wie die Sectoren rücksichtlich der Farben auch beschaffen sein mögen, immer wird man, wenn die Scheibe schnell gedreht wird, sämmtliche Sectoren in einer Farbe, der sogenannten Mischfarbe erblicken; denn wegen der Dauer des Lichteindrucks ($^1/_6$—$^1/_3$ Sec., je nach der Helligkeit,) sieht das Auge sämmtliche Farben auf einmal, wenn die Scheibe wenigstens 6 Mal in der Secunde herumgedreht wird. Um aber Weiß zu bekommen, müßten die Farben von genau derselben Beschaffenheit und in demselben Verhältniß gemischt sein, wie im Sonnenspectrum. Die Pigmente, mit denen die Sectoren bemalt werden, geben nie die reinen Farben des Sonnenlichts, auch kann das Verhältniß der Intensitäten der einzelnen Farben nie ganz genau getroffen werden, weil die Farben im Spectrum von einer Stelle zur anderen nach der Länge des Spectrums ihre Intensität stetig verändern. Man wird daher bei diesem Versuche nie Weiß, sondern immer nur ein Grau bekommen, das je nach der Wahl der Farben heller oder dunkler ausfallen kann. Die schönsten farbigen Papiere, aus denen man die Sectoren schneiden kann, wird man in den Tapetenfabriken finden.

Zu vielen hier und in der Folge noch aufzustellenden Versuchen muß man sich verschiedene farbige Gläser halten. Es giebt zweierlei Arten farbiger Gläser: solche, die durch die ganze Masse gleichmäßig gefärbt sind und solche, deren Oberfläche blos farbig ist, Ueberfangsglas. Rothes, durch Kupferoxyd gefärbtes Glas ist schon dunkel genug als Ueberfangsglas; aber für die anderen Farben sollte man in der Masse gefärbte Gläser haben. Solche Gläser lassen in der Hauptsache nur Licht ihrer eigenen Farbe hindurch; indeß ist dies, bei genauerer Untersuchung, doch nur bei dem rothen Glase absolut der Fall, alle anderen lassen noch Spuren anders gefärbten Lichtes hindurch, wie man sogleich bemerkt, wenn man ein prismatisches Spectrum daraus herstellt. Das

Glas sollte in quadratische Scheiben von 4—8 cm Seite geschnitten und an den Rändern sorgfältig abgeschliffen werden.

Gerade so, wie farbige Gläser können auch farbige Flüssigkeiten, Auflösungen gewisser Salze, gebraucht werden, um homogenes, monochromatisches oder einfarbiges Licht zu erhalten. Eine solche Flüssigkeit ist z. B. schwefelsaures Kupferoxydammoniak, die blos blaues Licht durchläßt, höchstens noch eine Spur von Violet. Diese Flüssigkeiten werden in Glasgefäße mit Parallelwänden gefüllt und dem Prisma, durch welches homogenes Licht geleitet werden soll, vorgesetzt.

11. Fraunhofersche Linien.

Um die Fraunhofer'schen Linien hervorzubringen, kommt es ganz besonders darauf an, das Licht der Sonne zu verwenden, wenn sie ihrer Culmination nahe ist, kurz vor und nach Mittag. Man lasse das Licht vom Heliostat durch einen schmalen Spalt ins verfinsterte Zimmer treten,

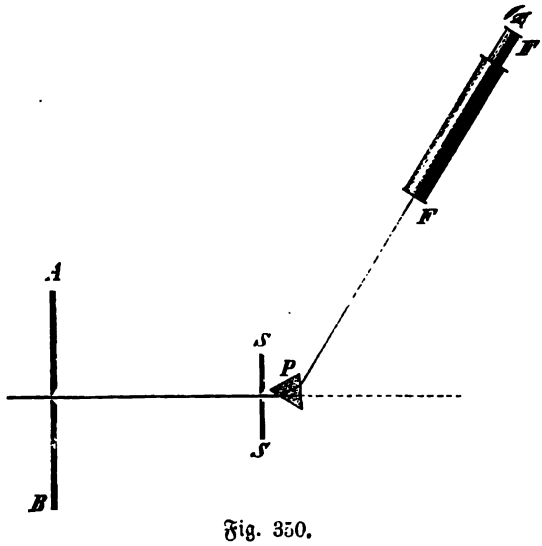


Fig. 350.

stelle in einiger Entfernung davon einen zweiten Schirm mit einem etwas weiteren Spalt auf und dicht hinter diesem das Prisma so, daß die Kanten dem Spalt parallel sind und der Strahl das Minimum der Ablenkung erfährt. In geeigneter Entfernung wird dann das Spectrum, auf einem Schirm von weißem Papier aufgefangen, die Linien sehr schön aufweisen. Diese objective Darstellung hat zwar den Vortheil, daß alle Anwesenden gleichzeitig die Erscheinung sehen können; reiner und deutlicher aber erscheinen die Linien, wenn man, statt des Schirms,

ein achromatisches Fernrohr in solcher Entfernung aufstellt, daß man den Spalt deutlich dadurch sehen kann; im Felde desselben erblickt man dann das Spectrum mit den Fraunhoferschen Linien. (Fig. 350) zeigt die Aufstellung; AB stellt die Fensterlade mit dem ersten Spalt, SS den zweiten Schirm, P das Prisma, FF das Fernrohr vor, Alles im Grundriß, so daß die Ablenkung des Strahls zwischen P und F als in der Horizontalebene liegend gedacht werden muß. Man wird bei diesem Versuche auf einmal nicht das ganze Spectrum übersehen, das Rohr also verschieben müssen, um auch die übrigen Theile ins Gesichtsfeld zu bekommen. Man kann hier auch, wie bei Fig. 340 gezeigt, das Prisma mit dem Fernrohr verbinden.

12. Maß der Zerstreuung.

Man stelle Spectren her, die durch Prismen von gleichen brechenden Winkeln, aber verschiedenen Stoffen erzeugt sind, und fange sie alle in gleicher Entfernung vom Prisma auf. Man wird etwa Crownglas, Flintglas, Wasser, Schwefelkohlenstoff zu brechenden und zerstreuenden Mitteln wählen. Man wird an diesen Spectren die verschiedene Länge, so wie die Verschiedenheit der Verhältnisse der einzelnen Farben wahrnehmen. Ist die Localität geeignet und die Witterung günstig, so wird es am besten sein, bei allen Spectren die dunkeln Linien zur Sichtbarkeit zu bringen, die gegenseitige Entfernung irgend zweier dieser Linien zu messen und sie mit der ganzen Länge der Spectren in Vergleich zu stellen. Man findet dann, daß die Zerstreuung der einzelnen Farben weder unter sich, noch der Länge der ganzen Spectren proportional ist. Ganz besonders abnorme Verhältnisse weisen in dieser Beziehung Schwefelkohlenstoff und Cassiaöl auf.

13. Chromatische Abweichung.

Man leite durch den Heliostat ein horizontales Lichtbündel ins dunkle Zimmer und setze inwendig vor die schmale Oeffnung oder Spalte ein rothes Glas. Um dieses bequem anzubringen wird man mit ein paar Stiften ein Brettchen an die Lade befestigen, in dem eine größere Oeffnung ist, neben der sich zwei Falze befinden, in welche das Glas eingeschoben werden kann. Hinter der Glasplatte stellt man eine convexe Linse von großer Brennweite auf und fängt den Vereinigungspunkt der rothen Strahlen hinter der Linse auf einem Schirm auf; der Abstand desselben von der Linse wird gemessen. Man setze dann, statt des rothen, ein blaues Glas, oder besser noch ein Plangefäß mit einer Lösung von schwefelsaurem Kupferoxydammoniak vor die Oeffnung und verfahre eben so; es wird sich dann zeigen, daß der Vereinigungspunkt der blauen Strahlen dem Glase näher liegt als der der rothen.

Man kann den Versuch auch ohne farbige Gläser anstellen, da in der Glaslinse selbst das durchgehende Licht in Farben zerlegt wird.

Man lasse also das durch den Helioſtat eingeführte Licht auf die oben erwähnte Linſe fallen und fange den Vereinigungspunkt durch einen Schirm auf; man wird dann finden, daß es einen Vereinigungspunkt blauer Strahlen und weiter vom Glaſe einen von rothen Strahlen giebt; dazwiſchen aber alle übrigen Farben der Reihe nach ihre Vereinigungspunkte haben. Um ſie deutlich zu ſehen, wird man den Schirm nach und nach weiter ſchieben müſſen. Stellt man den Schirm vor der Vereinigung der blauen Strahlen in den Lichtkegel, ſo erhält man ein kreisförmiges Bild, das nach Innen violet und blau, nach Außen roth gefärbt iſt; rückt man den Schirm jenſeits der Vereinigung der rothen Strahlen, ſo iſt der Kreis innen roth und außen blau.

In Ermangelung directen Sonnenlichtes kann man das oben beſchriebene Blechgehäuſe (Fig. 320) mit einer Gasflamme (Argandbrenner) darin zu den Verſuchen verwenden.

Folgender Verſuch macht die Sache, um die es ſich hier handelt, auch noch ſehr anſchaulich. Man ſetzt in die Lade des finſteren Zimmers (oder vor die Oeffnung des inwendig erleuchteten Blechgehäuſes) eine Platte mit verticaler Spalte, dahinter ein rothes und ein blaues Glas über einander, d. h. ſo, daß ſie ſich nicht decken, und hinter dieſe das Prisma mit verticalen Kanten; man erhält auf dem Schirm ein doppeltes Spectrum, wovon die eine Hälfte roth, die andere, wenigſtens vorherrſchend, blau iſt. Das blaue Licht wird viel weiter ſeitwärts gebrochen erſcheinen, als das rothe. Da das künſtliche Licht nur ſchwach iſt, ſo wird man ſich auf die ſubjective Erſcheinung beſchränkt ſehen, d. h. man wird durch das Prisma hindurch nach dem hellen Licht in der Wand des Gehäuſes blicken müſſen.

14. Achromaſie.

Der ſchon oben beſchriebene Apparat (Fig. 333) bildet das weſentlichſte Werkzeug für die Verſuche über Achromaſie. Man ſehe durch das einfache Crownglasprisma, nachdem man das Flintglasprisma zurückgeſchlagen, nach einer Fenſterſproſſe; hält man den brechenden Winkel des Prismas nach Unten, ſo erblickt man die Sproſſe tiefer gerückt und mit farbigen Rändern; jede Sproſſe erſcheint oben roth, unten blau. Betrachtet man dieſelbe Sproſſe durch das Flintglasprisma, ebenfalls mit nach Unten gekehrtem brechenden Winkel, ſo wird zwar ihr Bild nicht ganz ſo tief erſcheinen, aber eben ſo breite Farbenſäume haben. Legt man nun aber beide Prismen zuſammen, ſo ſieht man zwar die Sproſſe vertieft, aber farblos. Legt man dagegen die beiden ganz gleichen Crownglasprismen zuſammen, ſo liefern ſie beim Durchſehen ein farbloſes Bild an derſelben Stelle mit dem Gegenſtande. Das Flintglasprisma hebt bei kleinerem Winkel die durch das Crownglasprisma bewirkte Farbenzerſtreuung ganz auf, die Brechung aber nur zum Theil.

Intereſſanter wird der Verſuch, wenn man einen directen Sonnenſtrahl durch den Helioſtat horizontal ins Zimmer leitet, ihn durch die

Prismen der (Fig. 333) gehen läßt und in einiger Entfernung auf einem weißen Schirm auffängt; die Erscheinung ist dann objectiv, d. h. einer größeren Anzahl Personen wahrnehmbar.

Die Formeln, nach denen man den brechenden Winkel eines Flintglasprismas berechnen kann, bei welchem es für bestimmte Einfallswinkel ein Crownglasprisma von gegebenem brechenden Winkel achromatisch macht, geben die Lehrbücher; s. mein Lehrb. S. 226. Ein Crownglasprisma von 60° z. B. erfordert ein Flintglasprisma von ungefähr 29°; indeß variirt dieser Winkel etwas mit dem Einfallswinkel des Strahls. Auch können überhaupt durch ein Prismenpaar nie alle Farben aufgehoben werden; wenn aber die Prismen geschliffen sind, wie es die angeführte Formel erfordert, so bleibt auch nur ein kaum bemerkbarer Rest von Farben.

15. Spectralanalyse.

Bunsen's Spectroskop. Auf einem schweren gußeisernen Fuß (Fig. 351) mit verticaler Säule, ist eine mit salpetersaurem Silberoxyd schwarz gebeizte starke Messingplatte m unveränderlich befestigt. Auf derselben ist ein Flintglasprisma p von 60° brechendem Winkel so auf-

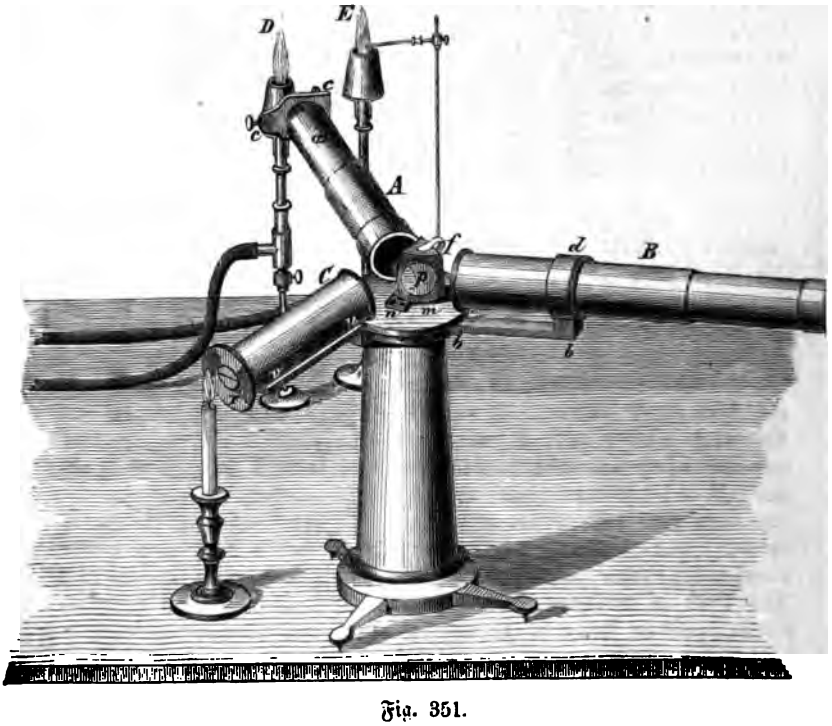


Fig. 351.

gestellt, daß seine Seitenkanten senkrecht stehen. Um dem Prisma stets seine richtige Stelle auf der Platte sofort anweisen zu können, ist auf der Platte ein kleiner Winkel n von Messingplättchen aufgeschraubt, in welchen eine Ecke der brechenden Kante einzusetzen ist. Die dritte Prismenfläche ist durch einen schwarzen Anstrich undurchsichtig gemacht. Eine Messingfeder, die hinter dem Prisma auf der Grundplatte m festgeschraubt ist, greift bei f über die obere Grundfläche über und hält das Prisma in seiner Lage fest.

An die Grundplatte ist ein Ring geschraubt, in welchen sich das Rohr A einschrauben läßt. In A wird vorn ein anderes Rohr a eingesteckt, welches die Metallplatte cc trägt; in dieser Platte befindet sich ein Spalt, durch welchen das Licht in das Rohr A und auf das Prisma p gelangt. In das andere, dem Prisma zugekehrte Ende des Rohrs A ist eine Sammellinse eingesetzt, deren Brennweite gerade bis zum Spalt reicht. B ist ein astronomisches Fernrohr, durch welches das durch das

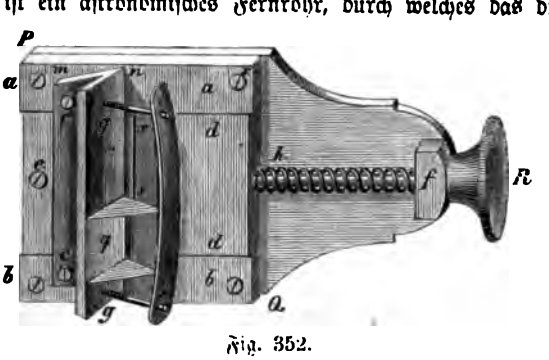


Fig. 352.

Prisma p zerlegte Licht beobachtet wird; es ist an einem an die Grundplatte m befestigten Arm bb angebracht; der Arm bb ist unbeweglich und trägt einen Ring d, in den das Fernrohr eingeschraubt wird.

Die vor das Rohr A gesetzte Spaltplatte cc müssen wir besonders betrachten; die (Fig. 352) stellt sie in vergrößertem Maßstabe dar. Sie ist fest mit dem Rohr a der Fig. 351 verbunden, dieses aber in dem Rohr A dreh- und verschiebbar. PQR (Fig. 352) ist eine ebene geschwärzte Messingplatte mit Schraube R; darauf sind die zwei Stäbe aa, bb aufgesetzt, welche nach Innen mit Falzen versehen sind; in diese Falze sind die Platten e und dd eingeschoben, erstere ist durch die Schraube bei e befestigt, letztere frei verschiebbar gelassen. Die Platten d und e kehren sich vollkommen geradlinige Ränder zu, die an der Innenseite abgeschrägt sind. Die Schraube Rh schraubt sich in die bewegliche Platte dd ein, dreht sich aber in dem auf die Platte aufgelötheten Messingkörper f ohne Gewinde, so daß sie bei der Drehung weder vor- noch rückwärts gehen kann; beim Rechtsdrehen holt die Schraube die Platte dd heran und öffnet den Spalt ss zwischen beiden Platten weiter; beim Linksdrehen würde sich die Schraube blos herausschrauben und die

Platte bliebe liegen, wenn nicht zwischen h und f eine starke Drahtfeder angebracht wäre, welche sich dehnt, wenn der freie Theil der Spindel länger wird; sie schiebt dann die Platte dd weiter fort, verengt so den Spalt und kann ihn zuletzt ganz schließen. Durch die Schraube Rh läßt sich also die Weite des Spaltes nach Belieben reguliren.

Auf die Stäbe a a, b b ist ein von zwei Platten c c, g g gebildeter Winkel aufgeschraubt; bei meinem Instrument bilden die Schenkel den Winkel m n o = 74°, so daß der Nebenwinkel o n r 106° hat. In diesen letzteren, stumpfen Winkel ist ein gleichseitiges Prisma q eingesetzt und gegen die Wand g g angelegt, während es an der gegenüberliegenden Kante durch ein Messingstäbchen i i gehalten wird; durch zwei Schrauben, die in die Platte g g eingreifen, kann das Stäbchen fest gegen die Prismenkante gedrückt werden, und das Prisma unverrückbar feststellen. Dieses wird nun gegen den unteren Theil des Spalts gesetzt, so daß oberhalb Licht von einer Quelle, die sich in der Verlängerung der Rohrachse befindet, in das Rohr A des Spectroskops gelangen kann, durch das Prisma dagegen von einer seitwärts gelegenen Lichtquelle. Diese Vorrichtung dient dazu, gleichzeitig Licht von zwei Quellen auf das Prisma p des Spectralapparates (Fig. 351) gelangen zu lassen: jedes dieser Lichtbündel wird im Prisma p in ein Farbenspectrum aufgelöst; ein in das Fernrohr B hineinsehendes Auge bekommt die zwei Spectra gesondert zu sehen, das eine über dem anderen, und zwar, da das Fernrohr B ein astronomisches ist, die Gegenstände umkehrt, das Spectrum des über dem Prisma q frei in den Spalt tretenden Lichtes unten, das des durch das Prisma q gegangenen Lichtes oben.

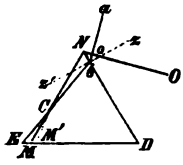


Fig. 353.

Die Wirkung dieses Prismas q finde ich in keinem der mir zugänglichen Lehrbücher, noch auch in anderen die Spectralanalyse betreffenden Schriften eingehender erörtert; ich werde daher versuchen, dasselbe in Bezug auf den Bau meines Apparates möchligst gründlich zu berechnen. N M D (Fig. 353) sei ein Durchschnitt des Prismas q. Die Seitenfläche N M liege an der Platte g g der Fig. 352 an; N O sei der Durchschnitt der Spaltplatte, bei o der Spalt, welcher ganz nahe der Prismenkante N liegt. Die Seiten des Prismas messen sämmtlich $13^{mm},7$; wir nehmen N b zu $0^{mm},2$ an, in der Figur ist b weiter von N gezeichnet, weil sich sonst Alles zu sehr in einem Punkt zusammendrängt und die Uebersicht erschwert; es hat dies auf die folgende Berechnung keinen Einfluß. Es ist also b'D = $13^{mm},5$. Damit ein durch das Prisma q gegangener Strahl auf das Prisma d gelangen könne, muß er in der Richtung der Achse des Rohrs A in den Spalt o, also senkrecht zur Spaltplatte N O treten; b o a stelle einen solchen ins Rohr tretenden Strahl vor. Bei b verläßt er das Prisma q; ist zz' das Einfallsloth, $\frac{3}{2}$ das Brechungsverhältniß des

Glases, bE der Strahl vor seinem Austritt aus dem Prisma, so muß $\sin abz = \frac{3}{2} \sin Ebz'$ sein. Nun beträgt an meinem Spectroskop der Winkel DNO 46°; ich habe auf NO eine bestimmte Länge abgetragen, DO gemessen und den Winkel DNO aus den drei Seiten des Dreiecks DNO berechnet. Es ist ferner W. Nbo = 90° — N = 44°, abz = 46°, und, wenn wir hier mit den wirklichen trigonometrischen Linien, statt ihrer Logarithmen, rechnen,

$$\sin abz = 0{,}7193 \quad \text{und} \quad \sin Ebz' = \frac{2}{3} \sin abz$$

$$\begin{array}{r} 2 \\ \hline 1{,}4386 \\ 3) \\ \hline \end{array}$$

$$\sin Ebz' = 0{,}4795; \quad Ebz' = 28^0\ 39'.$$

$$EbD = 90^0 - Ebz' = 61^0\ 21'$$

$$bDE = 60 -$$

$$EbD + bD_1E = 121\ 21$$

$$bED = 58\ 39$$

Um zu finden, wohin der Strahl bE trifft (eigentlich, von wo er ausgehen muß, um in b in die Richtung ba gebrochen zu werden), berechnen wir im Dreieck bDE die Länge der Linie DE aus bD und den Winkeln DbE und DEb

$$DE = \frac{Db \cdot \sin DbE}{\sin DEb}$$

$$\log Db = 1{,}1303$$

$$\log \sin DbE = 9{,}9433$$

$$11{,}0736$$

$$\log \sin DEb = 9{,}9314$$

$$1{,}1422; \quad DE = 23{,}87^{mm}.$$

E liegt also außerhalb M, und zwar, da DM = 13,^{mm}7, um 0,^{mm}17. Käme der Strahl von b und ginge in der eben berechneten Richtung durch das Prisma, so würde er etwa bei C auf die Seitenfläche MN unter einem sehr spitzen Winkel treffen, folglich in C total reflectirt werden. Damit also ein von DM herkommender Strahl nach seinem Austritt aus dem Prisma bei b die verlangte Richtung annehmen kann, muß er in derselben Richtung von dem Punkte C kommen; dies ist nur möglich, wenn ein Strahl M'C bei C unter dem Winkel M'CM = NCb auffällt und in C total reflectirt wird. Um die Lage des Punkts C in MN zu bestimmen, berechnen wir die Linie MC im Dreieck MEC. Es ist schon gefunden ME = 0,^{mm}17; ferner ist W. NMD = 60°, also W. CME = 120°, W. CEM (= DEb) = 58° 39', also W. ECM = 1° 21'.

$$MC = \frac{EM.\ \sin CEM}{\sin ECM}$$

$\log ME = 0{,}2304 - 1$
$\log \sin CEM = 9{,}9314$
$9{,}1618$
$\log \sin ECM = 8{,}3722$
$0{,}7896$; $MC = 6{,}16$ mm.

Der Strahl muß also die Fläche MN 6,mm61 über M unter dem Winkel $MCM' = 1^0\,21'$ treffen. Aus dem Dreieck MCM' berechnen wir jetzt noch die Lage des Punktes M', nämlich die Linie MM'. Es ist hier $MC = 6{,}^{mm}16$, W. $CMM' = 60^0$, W. $MCM' = 1^0\,21'$, $CMM' + MCM' = 61^0\,21'$, und

$$MM' = \frac{MC.\ \sin MCM'}{\sin MM'C}$$

$\log MC = 0{,}7896$
$\log \sin MCM' = 8{,}3722$
$9{,}1618$
$\log \sin MM'C = 9{,}9433$
$0{,}2185 - 1$; $MM' = 0{,}1654$.

In (Fig. 354) wo die zum Folgenden nöthigen Theile etwas größer gezeichnet sind, ist W. $MM'C = 180^0 - 61^0\,21 = 118^0\,39'$; ist xx' das Einfallsloth, so ist $MM'x = 90^0$, also $xM'C = 28^0\,39'$;

$\sin x\,M'C = 0{,}4795$
3
$1{,}4385$
$2)$
$\sin FM'x' = 0{,}7192$; $FM'x' = 46^0$ ungefähr.

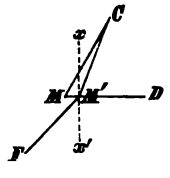


Fig. 354.

Die Strahlen, welche der Bedingung entsprechen sollen, müssen also sehr nahe an der Kante M, bei M', unter 46° mit dem Einfallsloth, oder 44° mit der Prismenfläche auffallen; sie werden dann in die Richtung M'C gebrochen, daß sie die Richtung der Rohrachse erhalten. Man wird hierdurch in Stand gesetzt sein, einigermaßen den Ort für die Lichtquelle dieser Strahlen leichter aufzufinden.

Setzt man gerade vor das Rohr A in die Verlängerung der Rohrachse, eine Lichtquelle und links davon eine zweite so, wie die eben geführte Berechnung fordert, so wird man im Gesichtsfeld vor jeder der beiden Quellen ein Spectrum erblicken, das erstere unten, das andere oben. Diese Lichtquellen bestehen aus zwei Gaslämpchen, an denen man nach Belieben, helle oder wenig leuchtende, aber desto heißere Bunsensche Flämmchen herstellen kann. Zur Darstellung der Spectralanalyse, ist eine Gasleitung unentbehrlich. Man könnte freilich auch eine Wasserstoffflamme benutzen; man müßte dann aber einen Gas-

entwickelungsapparat während der ganzen Dauer der Versuche im Gang erhalten. Da indeß die Entwickelung des Gases in einem solchen Apparate nicht immer mit derselben Lebhaftigkeit vor sich geht, so würden auch die Flammen nicht gleichmäßig brennen und die Versuche oft stören. Man müßte sich also einen Gasvorrath in einem Gasometer halten und das Gas aus diesem dahin leiten, wo die Flammen brennen sollen. Dies würde zu vielen Unbequemlichkeiten führen und theurer zu stehen kommen als Leuchtgas.

Die Gaslämpchen, welche hier gebraucht werden, haben folgende Einrichtung. Auf einem eisernen Fuß (Fig. 355) erhebt sich das Messingrohr r; durch das Seitenrohr a wird mittelst eines Gummischlauches von der Gasleitung das Gas ins Innere des Lämpchens geleitet. Ueber a wird das Rohr r dünner und hat bei b eine seitliche Durchbohrung. Ueber diesen Theil läßt sich die Hülse c herunterschieben, die eine eben solche Durchbohrung hat. Nun läßt sich die Hülse c beliebig herumdrehen, so daß einmal die Bohrung c gerade auf die andere b trifft, wo dann von Außen Luft ins Innere des Gasrohrs eindringen kann; oder man kann die Hülse c so drehen, daß die Bohrung b verschlossen wird und keine Luft ins Innere einströmen kann, wo dann das Gas, oben angezündet, mit der gewöhnlichen, hell leuchtenden Flamme brennt. Im ersten Falle aber, wenn die Bohrung offen ist, verbrennen die im Gase enthaltenen, durch Verbrennung des Wasserstoffgases ausgeschiedenen feinen Kohlentheilchen, die sonst nur glühen und dadurch die Flamme hell leuchtend machen, auf Kosten des Sauerstoffs der zuströmenden Luft. Die Verbrennung der Kohle liefert noch mehr Hitze, die Flamme verliert aber an Helligkeit. Am oberen Ende wird auf das Rohr noch die Hülse d geschoben, an der drei Drähte angelöthet sind, die den Schornstein c tragen, wodurch die Hitze der Flamme noch etwas gesteigert wird. Die Spitze der Flamme muß aber immer noch etwas über den oberen Rand des Schornsteins überragen. Das eigentliche Gasrohr r endet kurz über der Oeffnung b, und das Rohr, welches man in der Zeichnung sieht, ist noch über jenes gestülpt und unterhalb b in das Rohr r eingeschraubt. Die Oeffnung, aus welcher das Gas ausströmt, ist sehr eng, die Decke des Rohrs ist wie (Fig. 356) gestaltet und eingeschnitten. In der (Fig. 357) stellen wir noch ein etwas höheres Lämpchen dar, das mittelst der Schraube s in verschiedenen Höhen im Fuße festgestellt werden kann. Es zeigt über d die Drähte, welche den Schornstein tragen, der hier nur durch punktirte Linien angedeutet ist. Bei beiden Lämpchen läßt sich die

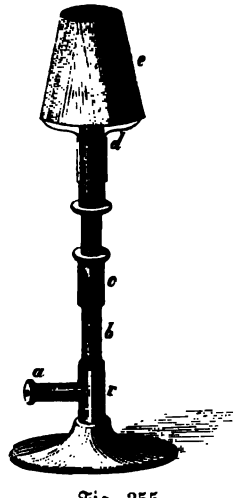


Fig. 355.

Hülse d höher und tiefer schieben, um nur gerade so viel von der Flamme über den Schornstein übersteigen zu lassen, als nöthig ist.

Es ist oft wünschenswerth, bei der Vergleichung zweier Spectren den Ort irgend einer Erscheinung in einem derselben genauer zu bestimmen. Zu diesem Zwecke ist am Spectralapparat (Fig. 351) noch das dritte Rohr C angebracht. Dieses Rohr steht in Verbindung mit einem Arm u v; der Arm hängt zusammen mit einem um den Ständer gelegten, aber drehbaren Ring. An dem dem Prisma p zugewendeten Ende trägt das Rohr C an seiner Unterfläche einen Stift von Messing, der durch eine ovale Oeffnung des Arms geht und durch einen nach der Breite des Arms durchgesteckten eisernen Stift so festgehalten wird, daß das Rohr hier nicht gehoben, aber wohl um diesen Stift gedreht werden kann. Nach dem äußeren Ende hin hat das Rohr ebenfalls nach Unten, einen eisernen Stift mit Schraubengängen, der durch eine kreisrunde Bohrung des Arms geht; diese Bohrung ist aber in der oberen Hälfte der Dicke weiter als unten; um den Stift ist eine elastische Drahtfeder gelegt, die sich oben gegen die Rohrwand, unten gegen den Boden der weiteren Bohrung stützt; auf das Gewinde unterhalb des Armes wird eine Mutter w in Gestalt eines Schraubenkopfs gesetzt. Durch diese Schraube wird das Rohr C in der Verticalebene gerichtet und regulirt.

Fig. 356.

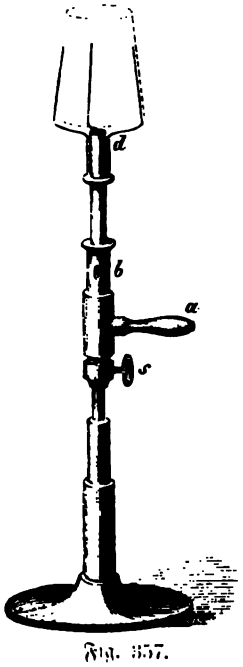


Fig. 357.

In das Rohr C wird vorn ein anderes, kurzes Rohr eingesteckt, auf welches die Platte r aufgeschraubt wird, die in der Mitte eine Oeffnung von der Weite des Rohrs hat. Diese Oeffnung wird durch eine Glasplatte geschlossen auf deren Innenseite das verkleinerte negative photographische Bild einer Millimeterscale aufgeklebt ist; sie konnte, wegen ihrer Kleinheit, in der Figur nur durch einen horizontalen dünnen Strich angedeutet werden. Ueber und unter dem Scalenbild ist die Glasplatte mit Stanniol bedeckt. An dem dem Prisma p zugekehrten Ende des Rohrs C befindet sich eine Sammellinse, deren Brennpunkt in der photographirten Scale liegt: die von dieser auf die Linse fallenden Strahlen gehen also nach der Brechung parallel fort und fallen unter einem sehr spitzen Winkel auf die dem Rohr B zugewendete Seitenfläche des Prismas p. Von so schief auf durchsichtiges Glas fallenden Strahlen wird ein großer Theil unter demselben Winkel

reflectirt. Stellt man also das Rohr C so, daß es mit der Prismenfläche denselben Winkel macht, wie das Rohr B, so fallen diese Strahlen alle in das Rohr B, und da sie parallel von der Scale kommen, so werden sie in diesem dasselbe Bild hervorbringen, wie wenn man die Scale selbst direct durch das Fernrohr betrachtete; vergrößert dann das Fernrohr B in demselben Maße, wie die Scale verkleinert ist, so erblickt man durch das Rohr die Scale in der natürlichen Größe, die Theile stellen wahre Millimeter vor. Die Theile der Scale sind von 10 zu 10 nummerirt, um aber mit weniger Ziffern auszukommen und das Feld nicht unnöthig mit Zifferwerk zu überladen, ist bei jeder Nummer die Null am Ende fortgelassen; man hat also die vorhandenen Ziffern als Zehner zu lesen, z. B. 170 für 17, 180 für 18 u. s. w. und die abgezählten Einer noch hinzuzufügen. Die photographirte Scale ist umgekehrt, wird aber durch das Fernrohr in aufrechter Stellung gesehen, weil dieses verkehrte Bilder der Gegenstände giebt. Um aber durch das Rohr B sichtbar zu werden, muß die Scale von Außen gut beleuchtet werden, dies geschieht durch eine ganz nahe davor gesetzte Lichtflamme. Das Scalenrohr ist zwar in der Horizontalebene drehbar; man wird aber einsehen, daß es eine ziemlich bestimmte Lage haben muß, damit die Strahlen vom Prisma gerade so reflectirt werden, daß sie die Richtung der Achse des Rohrs B annehmen. Wenn man das Scalenrohr während derselben Untersuchung in derselben Lage bleiben läßt, so kann man jeden Punkt des Spectrums, welches man durch das Fernrohr erblickt, genau fixiren und nach Angabe des Scalentheils, womit solcher Punkt, in welchem irgend etwas gesehen worden, zusammenfällt, stets wieder finden.

Um nun Spectren glühender Dämpfe hervorzubringen, oder zu finden, welche Erscheinungen diese Dämpfe in einem gewöhnlichen Spectrum hervorbringen, setzt man das eine Lämpchen in die Verlängerung der Achse des Rohrs A, also gerade vor den Spalt, das andere so, daß die Lichtstrahlen ins Prisma q dringen und von der Seitenfläche total reflectirt werden. D und E sind diese beiden Flammen. Wir haben oben gesehen, daß die Strahlen unter nahezu 46° auffallen müssen. Sehr oft, wenn es nicht gelingen will, ein Flammenspectrum zu erhalten, liegt es an der unrichtigen Stellung der Flamme E gegen das Prisma. Um die Stoffe, deren Dämpfe man untersuchen will, in die Flamme zu bringen, bedient man sich dünner Platindrähte, deren eines Ende in einen Glasstab eingeschmolzen, das andere zu einem Oehr gebogen ist. Die Körper können in festem oder flüssigem Zustande verwendet werden, müssen aber im ersten Falle fein gepulvert sein. Mit dem Oehr am Drahte nimmt man einen Tropfen des flüssigen Körpers auf; hat man es mit einem gepulverten festen Körper zu thun, so benetzt man den Draht erst in destillirtem Wasser, damit das Pulver besser daran haftet. Man kann sich dazu auch eines kleinen Ständers mit Arm bedienen, wie (Fig. 358) vorstellt. Der Arm a wird auf die erforderliche Höhe geschoben und festgeschraubt. Nach

Vorn bildet der Arm eine gespaltene Hülse, in welche ein etwas konisch ausgezogener Glasstab b gesteckt werden kann. An der Hülse ist ein Ring, mit dem der Glasstab festgeklemmt wird. Am anderen Ende ist ein Platindraht in den Glasstab eingeschmolzen. Nachdem man den Draht mit der Substanz versehen, stellt man den Ständer neben die Flamme und nähert ihn dem äußeren Saum derselben allmählig, während man gleichzeitig in das Fernrohr hineinsieht.

Man bedient sich hiezu der Flamme vor dem Prisma q und richtet sie zur Bunsen'schen Flamme ein, d. h. man läßt Luft zuströmen, damit sie heiß wird und dunkel brennt, also ein kaum bemerkbares Spectrum giebt. Arbeitet man im dunkeln Zimmer, so läßt man die Flamme vor dem Spalt hell brennen. Nimmt man aber zur Darstellung des hellen Spectrums das Tages- oder Sonnenlicht, so bleibt die zweite Lampe ganz fort. Es ist immer vortheilhaft, das Zimmer während des Versuchs etwas zu verdunkeln; das Tageslicht liefert schon ein hinreichend helles Spectrum, wenn auch nur eine kleine Spalte einer Fensterlade offen bleibt. Mit directem Sonnenlicht muß man sehr vorsichtig sein, weil es das Auge zu sehr angreift.

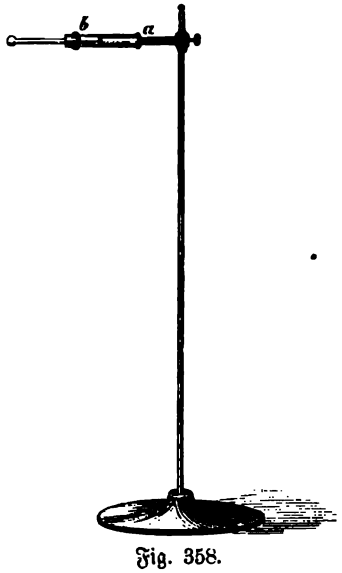


Fig. 358.

Alle zu diesen Versuchen erforderlichen Apparate, nämlich das Spectroskop und die Lampen, sowie das Licht vor dem Scalenrohr müssen eine für die Beobachtung bequeme Höhe haben. Das Stativ des Spectroskops ist gewöhnlich nur etwa 20 cm. hoch; ein gewöhnlicher Tisch von 80 cm. Höhe ist zur Aufstellung zu niedrig. Man muß sich daher einen Aufsatz machen lassen, auf welchem alle diese Apparate Platz finden, und der, auf einen Tisch gesetzt, das Fernrohr in die zur Beobachtung bequeme Höhe bringt. Ein Brett von 5 dm. Länge und 4 dm. Breite auf vier Füßn von 5—6 dm. Höhe dürfte dem Zweck entsprechen.

Bringt man in die Flamme vor dem Prisma q eine kleine Menge eines Salzes, so erblickt man, durch das Fernrohr sehend, im Spectrum gewisse leuchtende, farbige Linien, welche, je nach dem Stoff, verschiedene Lage im Spectrum und verschiedene Farbe haben; sie durchschneiden das horizontale Spectrum vertical, haben die Lage des Spaltes; sie unterscheiden sich auch durch die Breite von einander; die Dämpfe desselben Stoffes aber geben stets dieselben Linien an genau denselben Stellen des Spectrums. So z. B. giebt Chlornatrium (Kochsalz) stets

eine gelbe Linie an der Grenze zwischen Orange und Gelb; sie fällt gerade mit der Fraunhofer'schen Linie D zusammen. Manche Stoffe liefern mehrere Linien, zuweilen selbst von verschiedenen Farben. Durch diese Spectrallinien lassen sich die Körper mit der größten Bestimmtheit erkennen und, was besonders bemerkenswerth, man gebraucht dazu nur so kleine Mengen des Stoffs, daß eine chemische Analyse nie damit ausgeführt werden könnte; man hat sich überzeugt, daß der 40,000000ste Theil eines Gramm dazu ausreicht. (Fig. 359) stellt einen Theil der Scale vor; bei 170 die gelbe Natriumlinie, welche mit der dunkeln D-Linie zusammenfällt; bei 150 ist die rothe Lithiumlinie, während auf 153 die C-Linie fällt.

Wenn man die hellen Spectrallinien umkehren, d. h. in dunkle Linien verwandeln will, so muß man sie gegen ein helleres Licht betrachten, wo dann die Farbe der Linie vom hellen Licht im Hintergrunde absorbirt wird. Man läßt zu diesem Zwecke helles Sonnenlicht auf den Spalt fallen. Lithium giebt eine schöne rothe Linie zwischen B und C, da wo sonst keine dunkle Linie im Spectrum vorhanden ist; betrachtet man die rothe Lithiumlinie gegen helles Licht dahinter, so wird sie sofort dunkel. Da die Natriumlinie mit der Linie D zusammenfällt, so würde sie keinen entschiedenen Beweis für die Absorption liefern.

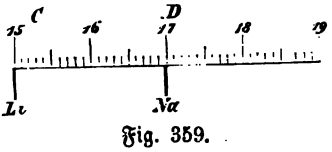


Fig. 359.

Statt des Sonnenlichtes bedient man sich gewöhnlich anderer Mittel, um sich helles Licht zu verschaffen. Die Versuche sind zwar etwas umständlich, greifen aber die Augen weit weniger an. Man kann das Drummand'sche Kalklicht benutzen, nämlich einen in dem Zusammenfluß eines Sauerstoff- und eines Wasserstoffstroms erhitzten Kalkcylinder, der darin weißglühend wird, so daß sein Licht dem der Sonne nicht viel nachgiebt. Auch dieses Licht blendet die Augen. Ein durch einen elektrischen Strom ins Weißglühen gebrachter Platindraht kann zu demselben Zwecke dienen; eben so das elektrische Kohlenlicht, jedoch wird man nicht geneigt sein, so viel Elemente aufzubauen, um einen ausreichenden Lichtstrom zu erhalten.

16. Das Auge.

Man hat zwar zur Versinnlichung des Baues des menschlichen Auges künstliche Augen angefertigt, die man in den Handlungen physikalischer Apparate überall vorräthig findet; zu diesem Zwecke sind sie aber eigentlich nicht zu gebrauchen, da ja der eigentliche Bau des Auges auch nicht annähernd auf künstlichem Wege nachgeahmt werden kann. Die künstlichen Augen können aber wohl dazu dienen, das Sehen zu erläutern. Um von dem Bau eine Vorstellung zu geben, wird man besser thun, ein Thierauge zu seciren um den Schülern die inneren Theile desselben zu zeigen. Ein Kalbs- oder Hammelauge, oder

was man sonst bei einem Schlächter vorfindet, kann recht wohl dazu dienen. Bis man die Section vornimmt, und so viel möglich während derselben, halte man das Auge in kaltem Wasser. Zuerst wird man das Bild eines vor dasselbe gehaltenen Gegenstandes, z. B. einer kleinen Lichtflamme, auf der Retina zeigen. Zu dem Zwecke entferne man an der Stelle der Hinterfläche, welche in der Richtung der Achse liegt, die weiße Hornhaut und die Aderhaut, so daß nur noch die Retina übrig bleibt; man bedient sich hiezu eines schmalen, scharfen Messers mit gerader Spitze. Ist zunächst die Hornhaut abgeschnitten, so kann man die Aderhaut mit der Pincette fassen und mit dem Messer wegschneiden ohne die Retina zu treffen. Die Arbeit wird erleichtert, wenn man das Auge dabei in eine auf einem Stativ ruhende Höhlung einer festen Unterlage legen kann. Ist die Operation das erstemal mißglückt, so wird sie doch an einem zweiten Exemplar gelingen. Nun stelle man das so präparirte Auge so auf, daß die Pupille und die von den Häuten entblößte Stelle frei werden und stelle in einiger Entfernung eine Lichtflamme vor das Auge, so wird man ein kleines umgekehrtes Bildchen durch die bloßgelegte Stelle der Retina durchschimmern sehen. Nachgehends entferne man die Hornhaut in einer größeren Fläche, gebe dem Lichte andere und andere Lagen gegen das Auge, und betrachte die Veränderungen, welche die Lage des Bildes erfährt. Sollte sich hiebei die Glasflüssigkeit durch die Oeffnung nach Außen drängen, so schiebe man ein dünnes Deckgläschen in die Oeffnung, so daß die Hornhaut es darin festhält, indem man das Gläschen unter die Ränder dieser letzteren schiebt.

Man schneidet nun noch mehr Hornhaut fort, um die Aderhaut zu zeigen; dann wird auch diese fortgeschnitten und die Netzhaut von Außen bloßgelegt. Schneidet man dann die Netzhaut auf, so dringt die Krystallflüssigkeit heraus, man sucht dann einen größeren Theil der Netzhaut frei zu machen, um diese auch von Innen sehen zu können. Wenn Alles sehr gut gelingt, so wird es möglich werden, den gelben Fleck zu finden; den Mariotte'schen (blinden) Fleck wird man, an der Stelle, wo der Sehnerv eintritt, leicht auffinden. Entfernt man dann den Krystallkörper, so kann man die Krystalllinse loslösen und herausnehmen, die Iris bloßlegen und zuletzt die durchsichtige Hornhaut näher untersuchen. Sehr interessant ist es, Einzelne dieser Gegenstände durch das Mikroskop vergrößert genauer zu betrachten.

Um das Sehen zu erklären wird man immerhin ein **künstliches Auge** gebrauchen können. Solche Augen bestehen aus einer Hohlkugel a von Messing auf einem Stativ (Fig. 360). Nach zwei einander entgegengesetzten Seiten ist die Kugel aufgeschnitten; die eine Oeffnung nimmt die Linse auf; es ist eine Glaslinse, welche von einer Platte gefaßt wird, die in der Mitte, um die Pupille vorzustellen und das Licht durchzulassen, durchbohrt ist. Diese Platte ist um die Bohrung herum, der Iris ähnlich, strahlenförmig bemalt. Die Linse ist so geformt, daß sie ungefähr dieselbe Ablenkung der Strahlen bewirkt, wie

die brechenden Flüssigkeiten und die Krystalllinse im Auge zusammen. Vor der vorderen Oeffnung ist ein gekrümmtes Glas mit parallelen Flächen vorgesetzt, welches die Cornea nachahmt. An die hintere Oeffnung des künstlichen Augapfels ist auswendig ein Rohr b angelöthet; in diesem verschiebt sich ein anderes Messingrohr c, das am inneren Ende durch eine matt geschliffene, durchscheinende Glasplatte geschlossen wird, welche die durch die Linse erzeugten Bilder der vor dem Auge befindlichen Gegenstände aufnimmt, also als Retina dient; von hinten kann man diese Bilder durch das Glas durchschimmern sehen. Durch Verschieben des Rohrs mit dem Glas kann man bewirken, daß die Bilder auf dem Glase deutlich entstehen, wo dann das Instrument das normale Auge vorstellt; oder man schiebt das matte Glas weiter nach vorn, so entstehen undeutliche Bilder, als wäre das Brechungsvermögen der Linse zu schwach; es wird das weitsichtige Auge vorgestellt. Zieht man die Röhre mit dem matten Glase weiter nach hinten als beim normalen Auge, so vereinigen sich die Strahlen schon vor dem Glase, welches die Retina vorstellt, es wird das kurzsichtige Auge nachgeahmt, in welchem die brechenden Körper ein zu großes Brechungsvermögen haben.

Fig. 360.

Am Ständer des Instruments sind zwei Linsengläser e, e' so angebracht, daß sie sich einzeln vor das Auge verschieben, aber auch beide davon zurückschieben lassen. Das eine dieser Gläser ist eine Convexlinse, wie die Brillengläser für Weitsichtige. Je nachdem man das die Retina vorstellende matte Glas auf ein normales Auge, oder auf weit- oder kurzsichtige Augen gestellt hat, wird man beide Gläser fortschieben, oder das convexe, oder das concave Glas vor das Auge bringen. Man kann in den beiden letzteren Fällen die Retina so stellen, daß, wenn man das betreffende Glas vor das Auge bringt, ein klares Bild entsteht. Dadurch wird aber die Wirkung der Brillen erklärt. Als Object vor dem Auge dient am besten eine kleine Lichtflamme.

Folgenden von J. Müller in s. Lehrb. beschriebene Versuch verdeutlicht das sogenannte Accommodationsvermögen des Auges. Auf einer durchsichtigen Glasscheibe mache man einen kleinen schwarzen Fleck, etwa mit schwarzer Tusche, und halte die Scheibe in der Weite des

deutlichen Sehens vom Auge. Man kann nun ganz nach Willkür entweder den Fleck oder die über die Tafel hinaus liegenden entfernteren Gegenstände zur deutlichen Wahrnehmung bringen, aber nie beide zugleich. Derselbe Versuch kann freilich auch mit irgend zwei ungleich entfernten Gegenständen gemacht werden.

Ueber die sichtbare Größe der Gegenstände in verschiedenen Entfernungen läßt sich ein Versuch an der Prismenstange anstellen. Es dienen hiezu zwei quadratische Messingplatten, wovon die eine doppelt so große Seiten hat als die andere, also in der Fläche viermal so groß ist als diese. Beide werden an einer Seite mit je einem Drahte versehen, um sie damit in die Hülse an der prismatischen Stange zu stecken. In ein drittes Plättchen von beliebiger Größe, das aber ebenfalls mit solchem Haltedraht versehen ist, wird in der Mitte ein Loch von 2 mm. Durchmesser gebohrt, welches als Diopter dienen soll. Dieses letztere stelle man am einen Ende der Prismenstange, wo die Theilung beginnt, auf, das kleinere von den beiden anderen in 20 cm., das größere in 40 cm. Abstand vom Diopter. Sieht man dann mit einem Auge durch das Diopter, so wird die dritte Platte gerade von der zweiten gedeckt, man erblickt beide unter demselben Winkel. Stellt man Platten, deren Dimensionen in anderen Verhältnissen stehen, die aber ähnliche Figuren bilden, in Entfernungen auf, welche sich wie die homologen Dimensionen verhalten, so decken sie sich auch wieder.

17. Das Stereoskop.

Den Unterschied zwischen monocularem und binocularem Sehen erkennt man am besten durch das Stereoskop. Es giebt katoptrische und dioptrische Stereoskope. Beim katoptrischen Stereoskop von Wheatstone sieht man mit jedem Auge in einen von zwei rechtwinklig gegen einander geneigte ebene Spiegel (Fig. 361), seitwärts an zwei senkrechten Wänden werden die Figuren aufgestellt, von denen eine den Gegenstand so darstellt, wie er mit dem linken Auge gesehen wird, die andere so, wie das rechte Auge ihn sieht; das linke Auge sieht das Spiegelbild jener, das rechte das Spiegelbild dieser Figur, beide identisch mit den Zeichnungen selbst. Diese Bilder setzen sich erfahrungsmäßig in unserer Wahrnehmung zum plastischen Körper zusammen. Hieraus folgt, daß wir ursprünglich, d. h. wenn uns die Gewohnheit und Uebung des Sehens noch fehlt, nur durch binoculares Sehen die Körper plastisch wahrnehmen.

Man muß übrigens bei diesen Versuchen Sorge tragen, daß beide Zeichnungen gleich stark erleuchtet werden, sie also gerade einem Fenster gegenüber, bei Abend vor einer Lampe aufstellen. Als Figuren dienen für die ersten Versuche am besten solche, die in ihrer Verbindung die einfachsten räumlichen Gebilde vorstellen, z. B. eine Kreisebene mit einer durch ihren Mittelpunkt gehenden Achse.

Wheatstone's Stereoskop hat folgende Einrichtung:

ABCD (Fig. 361) ist ein rechtwinkliger Rahmen von Holz, dessen Wände AB und CD an den schmäleren Seiten etwas höher sind als die anderen. An diesen höheren Wänden sind an der Innenseite Falze angebracht, um stereoskopisch gezeichnete Figuren einzustecken. In der Mitte ist ein Brett EFGH übergelegt, das beiderseits so, wie es die Zeichnung zeigt, ausgeschnitten ist. Unterhalb dieses Brettes sind unter Winkeln von 45° gegen das horizontale Brett EFGH zwei Spiegel angebracht, so daß sie in der Linie JK zusammenstoßen. Da sie selbst nur wenig sichtbar sein können, so ist in der Figur ihre Lage an der Seitenwand AD durch die punktirten Linien KL und KM angedeutet. Die Spiegel bilden in der Kante JK einen rechten Winkel mit einander. S stellt eine der eingelegten Figuren dar; sie liefert in Verbindung mit der Gegenfigur einen Kegel; die Figur an der Wand CD

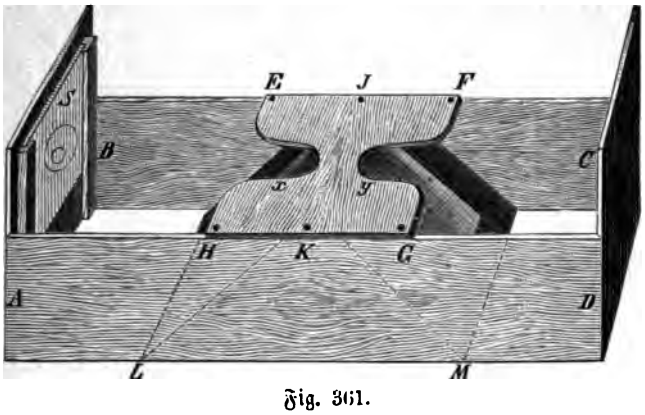


Fig. 361.

kann in der perspectivischen Ansicht nicht gesehen werden. Bei dem Versuche hält man die Augen über die Ausschnitte bei x und y. Die von S auf den Spiegel KL fallenden Strahlen werden nach Oben in das Auge bei x reflectirt; die von der andern Figur auf KM fallenden Strahlen ebenso in das Auge bei y. Man sieht dann gerade vor sich das körperliche Bild des durch die beiden Figuren vorgestellten Gegenstandes.

Das dioptrische Stereoskop von Brewster ist in (Fig. 362) dargestellt. Der Kasten ABCD von bekannter Form hat keinen Boden, sondern unten einen bloßen Rahmen, auf dem die gewöhnlich auf einem Blatt gezeigneten Bilder gelegt werden; in der Seitenwand ist eine Oeffnung, die sich durch die Klappe E zum Theil oder ganz schließen läßt, je nachdem die Beleuchtung des Bildes es erfordert. In der Decke AB sind zwei Oeffnungen, in welche zwei Glasprismen, die brechenden Winkel einander zugekehrt, eingesetzt werden. Man ersetzt jetzt diese Prismen durch die zwei Hälften einer in der Mitte durch-

geschnittenen biconvexen Linse von 15 cm. Brennweite, wie (Fig. 363) zeigt. Um zu bewirken, daß jedes Auge nur ein Bild sehe, wird noch die Wand F eingesetzt, die von Oben an bis dicht über die Bilder reicht. Ohne die Prismen oder Linsen würde man die Bilder der gezeichneten Objecte getrennt erblicken, durch das Glas links wird das Bild der linken Seite etwas rechts, durch das Glas rechts das Bild der rechten Seite etwas links geschoben, so daß sie sich decken und beide Augen nur ein Bild erblicken.

Ein sehr zweckmäßiges Object sind zwei Kreise wie Fig. 364 und 365), welche einen Kegel vorstellen; wenn die kleineren Kreise zusammen-

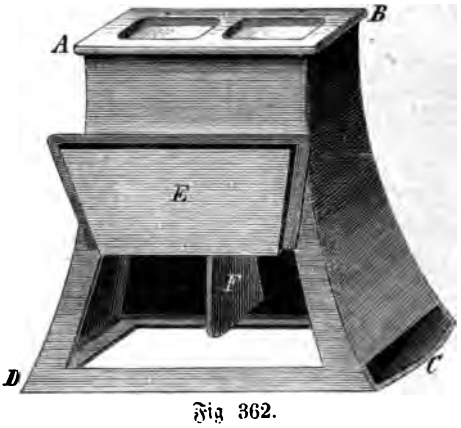


Fig 362.

Fig. 363.

gerückt erscheinen, wie in (Fig. 364), d. h. wenn die Centrale der kleinen Kreise kleiner ist als die der großen, so steht der Kegel auf der größeren Grundfläche; ist dagegen die Centrale der kleineren Kreise größer als die der großen, wie in (Fig. 365), so steht der Kegel auf der kleineren Grundfläche. Die (Fig. 366 und 367) stellen einen Mechanismus vor, durch den die eine Kegellage sofort in die andere umgewandelt werden kann. Auf die eine Seite eines steifen Kartenpapiers zeichnet man die größeren Kreise durch stark markirte Ringe. Auf der Rückseite des Blattes wird durch Streifen desselben Papiers eine Hebelvorrichtung angebracht, mittelst der die kleineren, in solchem Kartenpapier ausgeschnittenen Kreise in den Flächen der großen durch einen einfachen Zug verschoben werden können. Die (Fig. 366 und 367) geben die Rückseite des Blattes, es sind aber die Kreise punktirt darauf gezeichnet, obgleich sie eigentlich auf der anderen Seite liegen. Von den Mittel-

punkten der großen Kreise aus sind in das Papier Schlitze a, b geschnitten, in der Centrale der großen Kreise nach jeder Seite so weit,

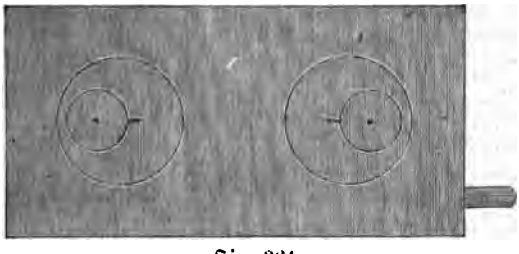


Fig. 364.

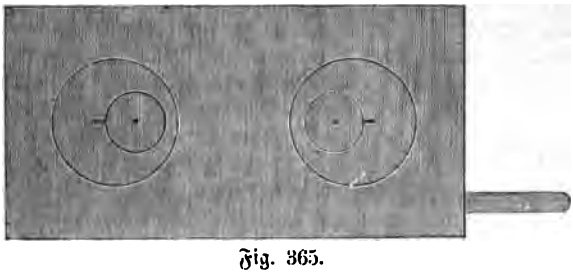


Fig. 365.

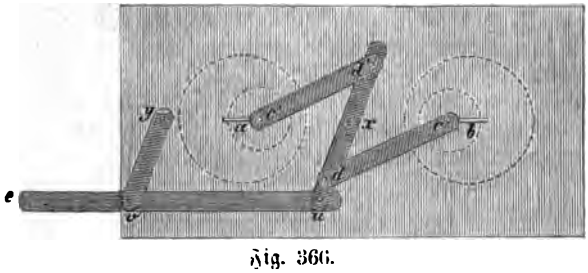


Fig. 366.

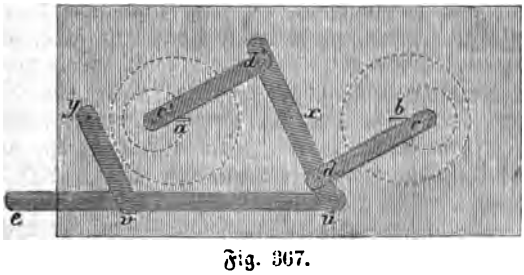


Fig. 367.

als die Mittelpunkte der kleinen Kreise sich verschieben lassen sollen. Durch die Mittelpunkte der Karten mit den kleineren Kreisen wird je

ein Faden gezogen und vorn mit einem starken Knoten versehen; der Faden wird durch den Schlitz und durch die Kartenstreifen cd, resp. c'd' gezogen und wieder mit einem Knoten versehen. Durch die Streifen werden dann noch bei x und y Fäden gezogen, ersterer durch den Streifen ud', letzterer durch vy und vorn und hinten verknotet. Bei v, d, u und d' werden blos die aus den Figuren sichtbaren Kartenstreifen durch eben solche Fäden verbunden; durch das Kartenblatt hindurch gehen, außer c und c', nur die Fäden bei x und y. Der Streifen evu wird über die Karte hinaus verlängert; faßt man ihn beim vorstehende Ende e und zieht ihn so weit aus als möglich, so nehmen die Kreise die Lage für den aufrechten Kegel an (Fig. 365 u. 367), schiebt man evu einwärts, so erhält man die Lage der (Fig. 364 und 366), welche im Stereoskop den umgekehrten Kegel giebt. Damit die Figur recht deutlich werde, muß man die großen Kreise mit ziemlich starken, schwarzen Kreisen zeichnen, und auch die Ränder der (ausgeschnittenen) kleinen Kreise mit starken schwarzen Linien umgeben. Um den Mechanismus des Hebelwerks zu schonen, legt man über die Rückseite ein Blatt Papier und klebt es ringsum am Rande an.

Daß man bei monocularem Sehen großen Täuschungen ausgesetzt ist, zeigt sich besonders durch den bekannten Versuch, wobei man einen Ring an einem Faden aufhängt, dann einen starken, gegen 1 m. langen Draht, der am einen Ende etwa 1 oder 2 cm. rechtwinklig zu einem Haken umgebogen ist, während man das eine Ende geschlossen hält und den Stab am anderen, vom Haken abgekehrten Ende in der Hand hält, mit dem umgebogenen Ende durch den Ring zu stecken versucht: es wird meist nicht gelingen. Eben so hält es sehr schwer, eine Nadel einzufädeln, wenn man das eine Auge zumacht; Alles dies, weil wir beim Sehen mit einem Auge keinen Maßstab zur Beurtheilung der Entfernungen haben.

18. Dauer des Lichteindrucks.

Um die Dauer des Lichteindruckes zur Erscheinung zu bringen, befestige man eine Holzkohle an das eine Ende eines 1 m. langen, ausgeglühten Eisendrahtes, erhitze die Kohle bis sie glüht, dämpfe das Licht des Zimmers etwas und schwinge die Kohle am Drahte im Kreise herum, erst langsam, dann schneller. Man kann auch die geringste Geschwindigkeit finden, bei der der Kreis vollständig erscheint, dann zählen, wie oft die Kohle in einer ganzen oder halben Minute den Kreis durchläuft, und daraus berechnen, wie viel Zeit sie zu einem Umlauf gebraucht. Dies ist dann die Dauer des Lichteindrucks.

Dreht man auf der Centrifugalmaschine eine runde Pappscheibe, die an einer Stelle ein kreisförmiges Loch von 1 cm. Durchmesser hat, hält dann einen hellen Gegenstand, etwa eine glühende Kohle, die man von Zeit zu Zeit etwas anbläst, oder einen brennenden Aluminiumdraht unter die Pappscheibe, in gleichem Abstande vom Centrum wie

das Loch, so kann man das helle Licht fortwährend sehen, auch wenn die undurchsichtigen Theile der Scheibe zwischen Kohle und Auge sind. Auch hier kann man die Zeit finden, die verstreicht, während das Loch in der Scheibe den Kreis zurücklegt. Es hängt dies von der Helligkeit des Gegenstandes ab; bei hellem, glänzendem Lichte wird der Eindruck etwa $^1/_7$ Sec. dauern.

Theilt man einen auf weißes Papier gezeichneten Kreis in eine gerade Anzahl gleicher Sectoren, streicht die eine Hälfte derselben mit Tusche schwarz an, während die andere Hälfte weiß bleibt, schlägt dann in der Mitte ein Loch von der Weite der Schraube an der Centrifugalmaschine, setzt auf die Maschine erst eine Pappscheibe, darauf den getheilten Kreis und befestigt ihn durch eine Mutter, so erscheint der ganze Kreis bei der Drehung grau, d. h. das Auge hat gleichzeitig den Eindruck der weißen und der schwarzen Sectoren.

In eine kreisrunde Pappscheibe von etwa 15 cm. Durchmesser schneide man in der Mitte ein Loch, mit dem sie auf den unterhalb der drehbaren Achse unbeweglichen Theil der Centrifugalmaschine gesetzt werden kann, bringe nahe am Rande in einem concentrischen Kreise eine deutliche Schrift an, die so ziemlich den ganzen Kreis einnimmt,

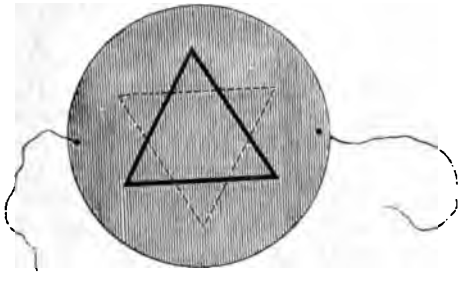


Fig. 368.

setze dann auf die drehbare Achse eine an einer Stelle gerade über der Schrift durchbrochene Scheibe und befestige die Scheibe durch eine aufgesetzte Mutter, drehe dann die Scheibe rasch herum, so wird die ganze Schrift auf einmal zu lesen sein.

Die Thaumatrope beruhen auch auf der Dauer des Lichteindrucks. Man macht sich einfache Thaumatrope aus Kartenpapier, das man kreisförmig ausschneidet; auf jeder Seite zeichnet man einen Theil einer Figur in der gehörigen Lage, befestigt an die Enden eines Durchmessers der Scheibe dünne Schnüre, entweder mit Gummi, indem man ein Stückchen Papier überklebt, oder dadurch, daß man die Schnüre durch eingestochene Löcher durchzieht und mit Knoten befestigt. Faßt man die Schnüre mit je einem Daumen und Zeigefinger und dreht sie herum, so dreht sich auch die Scheibe und man bekommt beide Hälften der Figur auf einmal als Ganzes zu sehen. Einfache Figuren sind

zwei Dreiecke, die auf entgegengesetzten Seiten der Scheibe in entgegengesetzten Lagen gezeichnet werden; bei der Drehung erblickt man einen sechseckigen Kreuz-Stern. (Fig. 368), wo die Figur der anderen Seite mit der ersten zusammen punktirt gezeichnet ist. Künstlichere Formen findet man im Handel vorräthig.

Die stroboskopische Scheibe von Stampher beruht ebenfalls auf der Dauer des Lichteindrucks; sie besteht aus einer größeren und

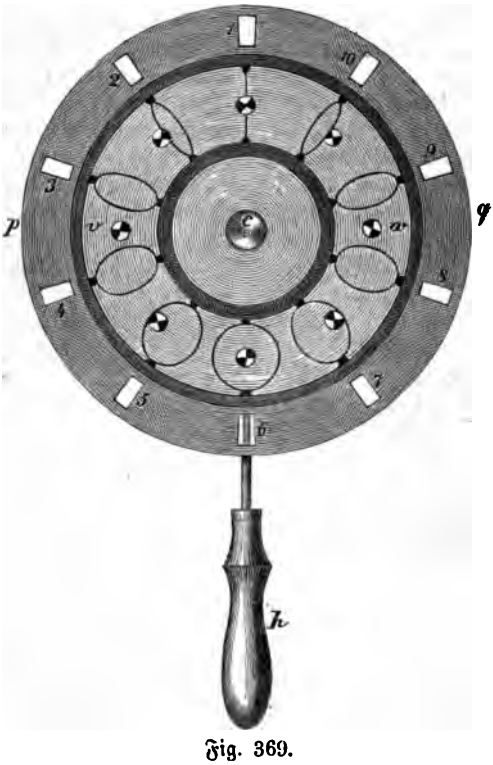


Fig. 369.

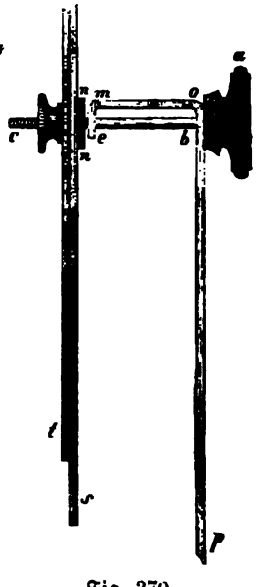


Fig. 370.

mehreren kleineren Scheiben von Pappe. In (Fig. 369) stellt p q die größere, v w eine der kleineren Scheiben vor. Die größere Scheibe hat am Umfange mehrere (10—12) Oeffnungen in gleichen Abständen; sie sind in der Figur numerirt; in der Mitte ist die Scheibe durchbohrt, um eine dünne Achse durchzulassen, um welche die Scheiben sich drehen sollen. Diese Achse befindet sich an einer Art Halter, welcher in (Fig. 370) mit den Scheiben daran in einer Seitenansicht dargestellt ist. Die Achse ist bc, a ist ein Knopf, in dem sie feststeckt, s die größere, t eine der kleineren Scheiben. Am Ende, bei c, ist die Achse mit

Schraubengängen versehen, um eine Mutter aufzunehmen, durch welche die Scheiben fest gegen ein dahinter liegendes Plättchen nn angedrückt werden. Die Achse bc nimmt dann ferner den Draht mop auf, der bei m und o zweimal rechtwinklig gebogen und bei e und b durchbohrt ist; unterhalb p steckt ein Griff daran, der in (Fig. 369) bei h zu sehen ist. In der Seitenansicht sind die Scheiben s und t nur nach einer Seite hin in ihrer richtigen Größe gezeichnet, da dieser Zeichnung ein größerer Maßstab zu Grunde liegt. Der Durchmesser der kleineren Scheiben t ist gerade um so viel kleiner als der der größeren, daß die Oeffnungen in dieser von den aufgelegten kleineren nicht verdeckt werden. Auf die kleineren Scheiben sind Bilder gezeichnet, welche Gegenstände vorstellen, die sich in Bewegung befinden. In unserer Figur ist es ein sich drehender Kreis, durch welchen eine Kugel hindurchfliegt. Bei jeder Oeffnung der größeren Scheibe sind beide Bewegungen in einem entsprechenden Stadium gezeichnet, z. B. bei 1 steht der Kreis senkrecht auf der Ebene der Zeichnung und die Kugel befindet sich in der Mitte desselben; da die größere Scheibe hier 10 Löcher hat, so wird bei 2 der Kreis so gezeichnet, als habe er $^1/_{10}$ seiner ganzen Umdrehung vollendet, bei 3 $^2/_{10}$, bei 4 $^3/_{10}$ u. s. w., wenn er endlich bei 1 wieder ankommt, $^{10}/_{10}$ oder die ganze Drehung; eben so hat die Kugel bei 2 um $^1/_{10}$ ihrer ganzen Kreisbewegung zurückgelegt, bei jeder folgenden Oeffnung $^1/_{10}$ mehr als bei der vorangehenden. Hat man nun auf die größere Scheibe eine der kleineren aufgesetzt und festgeklemmt, so faßt man den Apparat mit der linken Hand bei dem Griff h, stellt sich in der Weite des deutlichen Sehens vor einen ebenen Spiegel, die Seite mit den Bildern noch diesem gewendet, dreht die Scheibe mit der rechten Hand rechts herum und sieht dabei durch die Löcher am Rande der größeren Scheibe nach den Bildern im Spiegel. Während die Bilder in ihren verschiedenen Stellungen am Auge vorbeigehen, scheint es, als sähe man immer dasselbe Bild, das aus einer dieser Stellungen in die andere überginge, weil der Eindruck einer Stellung im Auge so lange verharrt, bis das Bild der nächsten davor erscheint. Die Dauer der Drehung aus einer Stellung in die andere darf also die Dauer des Lichteindrucks nicht überschreiten, d. h. es dürfen nicht zu wenige Löcher im Kreise herum, die Bewegung darf nicht zu langsam sein.

19. Dioptrische Instrumente.

a. Mikroskope.

α. Zur Darstellung des einfachen Mikroskops oder der Loupe kann man zwar auch jede wirkliche Loupe gebrauchen und durch dieselbe irgend einen kleinen Gegenstand betrachten; ich ziehe es aber vor, auch hiezu mich der Prismenstange zu bedienen und Linse und Object auf dieser aufzustellen. Als Objecthalter dient der Apparat, der durch (Fig. 371 und 372) in zwei Ansichten dargestellt ist; es ist eine Klemme

mit zwei Federn, zwischen welche man vor die Oeffnung der Platte das Object bringt; ist dasselbe etwa zwischen zwei Gläser gefaßt, wie die bleibenden Objecte bei Mikroskopen, so klemmt man die Gläser hinter die Federn; ist es aber ein Object, das man ohne weitere Vorbereitung vor die Loupe zu bringen wünscht, so bedient man sich einer selbst schließenden Pincette, wie solche durch (Fig. 373) dargestellt wird, faßt das kleine Object zwischen die dünnen Backen derselbe und klemmt die Pincette so hinter die eine Feder, daß die Spitze mit dem Object gerade in die Mitte der Oeffnung der Platte zu stehen kommt; oder man läßt an die Pincette einen Stiel machen, der in eine Hülse der Prismenstange gesteckt werden kann; die Länge der Pincette muß dann freilich

Fig. 371.

Fig. 372.

Fig. 373.

der Höhe entsprechen, die das Object erhalten muß, damit es gerade in die optische Achse der Linse zu stehen komme.

Es wird sich empfehlen, das Object noch besonders zu beleuchten; man steckt zu diesem Zwecke die größere Linse vor das Object in solche Entfernung davon, daß der Vereinigungspunkt der dadurch gebrochenen Strahlen gerade auf das Object fällt. Bei Tage läßt man das volle Tageslicht vom Fenster her, Abends das Licht einer Lampe darauf fallen und sucht in jedem Falle die Vereinigungsweite. Hinter das Object wird nun mittelst einer Hülse eine Sammellinse mit kurzer Brennweite auf die Stange geschoben, und diese so lange hin- und hergerückt, bis das Bild dem durchblickenden Auge am deutlichsten erscheint. Hat man vorher die Brennweite dieser Linse bestimmt, so wird man jetzt auf der getheilten Stange den Abstand des Objects von der Linse ablesen können und daraus ersehen, daß die Objectsweite etwas kleiner ist als die Brennweite.

Mit einer einfachen Linse kann man nie starke Vergrößerungen erreichen, weil Linsen, welche die zu starken Vergrößerungen nöthige Convexität hätten, so klein ausfallen müßten, daß es der Technik sehr schwer fallen müßte, sie herzustellen. Außerdem würden die sphärische und chromatische Abweichung das Bild zu undeutlich machen. Da bei starker Krümmung auch die Helligkeit abnimmt, so sind stark vergrößernde Loupen aus einer einzigen Linse unbrauchbar. Die Theorie zeigt aber, daß zwei planconvexe Gläser von schwächerer Krümmung, mit den convexen Seiten an einander gestellt, an den genannten Fehlern weniger leiden als eine stärker gekrümmte Linse, und doch eben so stark vergrößern können. Man setzt daher Loupen zum Zwecke einigermaßen starker Vergrößerung aus zwei Linsen zusammen, zwischen welchen man, zur Abhaltung der Randstrahlen, eine Blendung anbringt; die Helligkeit des Bildes wird sogar durch drei Linsen (mit Blendung) erhöht; auch wird das Gesichtsfeld durch eine dritte Linse erweitert. (Fig. 374) zeigt eine Loupe mit drei Linsen in ihren Fassungen und in leicht zu handhabender Zusammenstellung; a ist die Blendung. Brewster hat für zusammengesetzte Loupen das in (Fig. 375) dargestellte Stativ eingeführt, wo a die zusammengesetzte Linse an dem in m drehbaren Arm de, b das Object ist, welchem die Linse a mittelst Trieb und Triebstange am Knopfe v näher oder ferner gestellt werden kann; c endlich ist ein Beleuchtungsspiegel; er ist um die Achse pq drehbar, die Achse selber kann aber beim Knopfe w wieder gedreht werden.

Fig. 374.

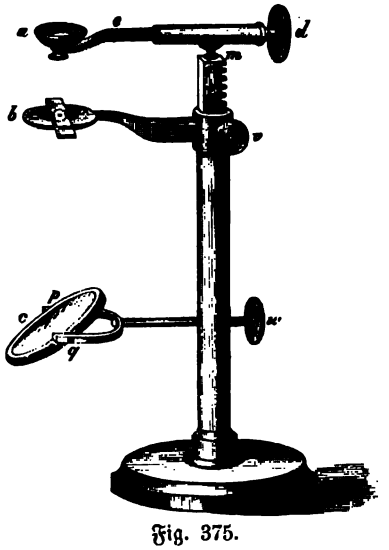


Fig. 375.

β. Cylinderloupen (Fig. 376) sind Glascylinder mit sphärischen Endflächen. Die dem Objecte zugekehrte Fläche a ist weniger gekrümmt, als die dem Auge zugekehrte b; dadurch wird eine starke Convergenz der durch die Fläche b gebrochenen Strahlen bewirkt, so daß diese sich stark der Cylinderachse nähern und für die Fläche a eigentliche Central-

strahlen bilden, also von der sphärischen Abweichung nicht zu leiden haben. Unbequem ist bei dieser Loupe, daß sie dem Object so sehr genähert werden muß.

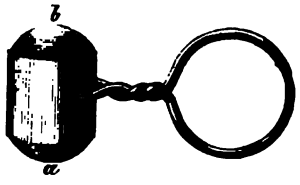


Fig. 376.

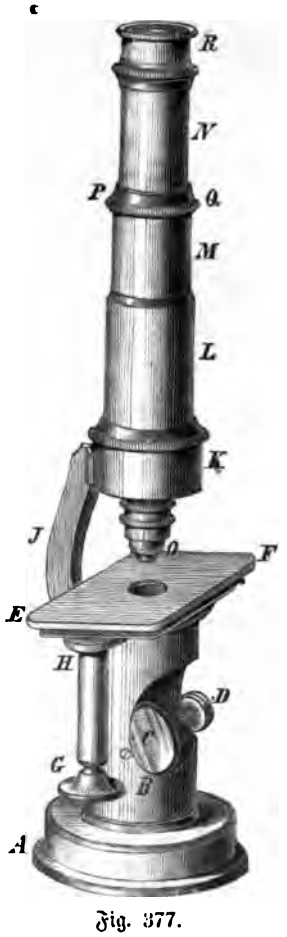


Fig. 377.

γ. Das zusammengesetzte Mikroskop (Fig. 377) besteht aus dem schweren, cylindrischen Fuß A (in neuerer Zeit wird er oft hufeisenförmig gemacht), auf dem sich die Säule B erhebt, die aus einem starken Messingrohr besteht; im Inneren des Rohrs befindet sich der concave Erleuchtungsspiegel C, welcher am Knopfe D gedreht und so gerichtet werden kann, daß das Licht gerade auf das Object fällt. Auf der Säule B liegt eine durchbrochene Platte, auf dieser der Objecttisch (oder Objectträger) EF; er wird durch eine Schraube innerhalb GH auf- und niederbewegt, um das darauf liegende Object der Objectivlinse bei O mehr oder minder zu nähern. Dieses ist die feine Bewegung dieses Mikroskops. Der Objectträger EF besteht aus einer Metall- und einer darüber gekitteten Glasplatte; an erstere ist ein Röhrchen rsuv (Fig. 378) gelöthet, in der Achse dieses Röhrchens ist ein Stahldraht ab in dieselbe Platte eingeschraubt; der Draht hat außerdem in seinem unteren Theil ein Gewinde, um denselben ist im Röhrchen eine gewundene Drahtfeder gelegt, die sich oben gegen die Platte des Objectträgers stützt. Das erwähnte Röhrchen wird durch ein Loch in der unter dem Objectträger befindlichen Platte gesteckt; in diese Platte ist wieder ein Rohr cdef eingelöthet, welches das an der oberen Platte befindliche aufnimmt und etwas länger ist als dieses; gegen das untere Ende zu hat es inwendig unterhalb uv einen Absatz, auf welchem die Drahtfeder aufliegt. Der Draht mit dem Gewinde reicht noch über diese Röhre herunter; auf ihn wird der Knopf G aufgeschraubt. Der Objectträger erhält noch Führung durch zwei Stifte, eins rechts, eins links vom Ständer B der (Fig. 377); sie sind in die Trägerplatte eingeschraubt

und gehen durch die feste Unterplatte hindurch. Der Knopf G (Fig. 378) schraubt sich auf die Spindel auf bis er gegen den Rand der äußeren Röhre stößt; von da ab aber holt er die Trägerplatte herunter, wenn man rechts schraubt; beim Linksschrauben des Knopfes G stößt die gewundene Drahtfeder den Objectträger in die Höhe, nähert ihn dem Objectiv des Mikroskops. Der Knopf schraubt sich erst los, wenn die Feder ihre volle Ausdehnung erreicht hat und nicht mehr gegen die Oberplatte drücken kann.

An den Ständer B (Fig. 377) ist der Arm J angelöthet, der den Ring K trägt; in K wird das Rohr L eingeschraubt; es ist bestimmt, den Körper des Mikroskops aufzunehmen. Dieser wird in das Rohr L eingeschoben, muß darin, sich selbst überlassen, fest stehen, ohne durch seine Schwere herunter zu sinken, sich aber auch mit sanfter Bewegung heben und senken lassen. Der Körper besteht nun aus den zwei Röhren M und N; M ist zur Aufnahme der Objective, N zur Aufnahme der Oculare bestimmt. PQ ist noch ein Mittelstück, welches in M eingeschraubt wird; in PQ wird N eingeschoben und kann darin um eine Strecke höher oder tiefer gestellt werden. Unten an N ist eine Blendung angebracht, welche mit dem äußeren Ring etwas über den unteren Rand von PQ vorsteht, so daß N nicht ohne Weiteres zu hoch herauf gezogen werden kann. Unten bei O werden die Objective, oben bei R die Oculare eingesetzt.

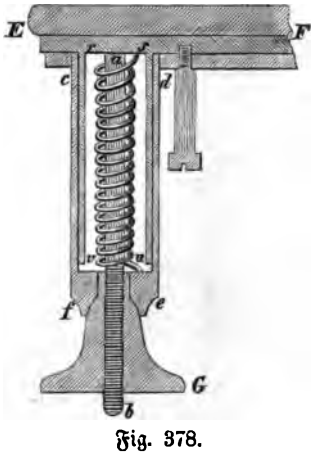


Fig. 378.

In allen neueren Mikroskopen sind die Objectivgläser achromatisch. Kleineren Instrumenten werden 4—6 solcher achromatischen Objective beigegeben; um verschiedene Vergrößerungen zu erzielen, werden sie theils einzeln, theils in bestimmten vorgeschriebenen Verbindungen gebraucht — combinirte Objective. Bei größeren, vollkommneren, daher auch theureren Mikroskopen sind die für jede Vergrößerung zu combinirenden Objective bereits in ein System verbunden; diese erfordern daher mehr Linsen, weil dieselbe Linse in verschiedenen Systemen wieder vorkommen muß.

Gewöhnlich werden einem Mikroskop zwei und mehr Oculare beigegeben, so daß das zweite stärker vergrößert als das erste, das dritte stärker als das zweite u. s. w. Man wird aber besser thun, die stärkeren Vergrößerungen lieber durch die Objective als durch Oculare zu bewirken, weil diese nur lichtschwache Bilder geben.

Dem Mikroskop werden mehrere Objectgläser beigegeben, dazu bestimmt, mit dem zu untersuchenden Object darauf, auf den Object-

tisch gelegt zu werden. Sie bestehen aus klarem, weißem Glase, sind rechteckig geformt und etwa 7 cm. lang, 2 cm. breit, an den Rändern sorgfältig abgeschliffen. Außerdem bedarf man einer größeren Anzahl dünner, planparallel geschliffener Deckgläser, womit die Objecte auf dem Objectglas zugedeckt werden. Das Zudecken ist durchaus nöthig, weil man sonst, besonders bei starken Vergrößerungen, wo das Objectivglas sehr nahe an das Object kommt, leicht diese beiden in Berührung bringen könnte, also das Object zerstören, das Glas beschmutzen würde. Ganz unentbehrlich sind die Deckgläser, wenn man eine Flüssigkeit auf dem Objectglase hat.

Fig. 379.

Die sogenannten Immersionssysteme machen freilich hievon eine Ausnahme, da bei diesen absichtlich eine Schicht Wasser zwischen die letzte Objectivlinse und das Deckplättchen gebracht wird; immer aber wird das Object bedeckt. Die Deckgläschen sind 15 mm. lang und breit. Zweckmäßig verwendet man auch klare Glimmerblättchen dazu, weil die nicht geschliffen zu werden brauchen, da sie parallele Spaltflächen haben.

Eine unentbehrliche Zugabe zum Mikroskop ist eine gute Stahl-Pincette.

Die meisten Objecte sind durchsichtig oder doch durchscheinend, da sie zu ganz dünnen Lamellen präparirt werden. In solchen Fällen reicht die Beleuchtung im durchgehenden Licht, von Unten, durch den Spiegel hin. Es giebt indeß auch genug Fälle, wo man das Object von Oben beleuchten muß, wenn nämlich der Körper nicht durchsichtig genug ist. Dies geschieht durch eine convexe Linse, L (Fig. 379), die sich in den Fuß stecken läßt und vermittelst des aus der Zeichnung hinreichend deutlichen Halters mit zwei Kugelgewinden a, b, jede beliebige Lage annehmen kann.

Fig. 380.

In vielen Fällen, namentlich wenn man sehr zarte Gegenstände zu untersuchen hat, muß man einen Theil des durch das Loch des Objecttisches fallenden Lichtes abblenden, damit die Beleuchtung mäßig werde, weil das Auge von allzu grellem Lichte geblendet wird. Es wird dann die Oeffnung des Tisches verkleinert, und zwar entweder mit der sogenannten Cylinderblendung, oder durch die Drehscheibe. Erstere besteht in einem cylindrischen Röhrchen a b (Fig. 380), dessen Deckel eine größere oder kleinere Oeffnung hat; a und c sind Blendungen mit verschieden weiten Oeffnungen. Dieses Röhrchen wird in das Loch des Objecttisches gesteckt. — Die Cylinderblendung ist eine Scheibe A (Fig. 381) mit im Kreise herum angebrachten Löchern

von verschiedener Weite. Sie ist mit ihrem Centrum C so unten am Objecttisch angebracht, daß bei ihrer Drehung allemal ein Loch gerade unter die Mitte der Oeffnung im Objecttisch zu stehen kommt.

Der Verfertiger eines Mikroskops sollte stets auf einer besonderen Karte angeben, in welcher Weise die verschiedenen Objective mit einander zu verbinden sind und welche Vergrößerung jede Verbindung giebt. Die Objective müssen daher deutlich numerirt sein. Bei größeren Mikroskopen, wo die einzelnen Objective bleibend zu sogenannten Systemen vereinigt sind, sollte die Vergrößerung jedes Systems in seiner Combination mit den einzelnen Ocularen angegeben sein.

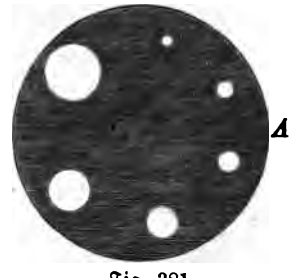


Fig. 381.

Mikrometer. Jeder Besitzer eines Mikroskops sollte auch im Stande sein, die durch die verschiedenen Combinationen der Objective zu erreichenden Vergrößerungen selbst zu bestimmen, nicht weniger auch die Objecte zu messen. Hiezu dienen zwei Mikrometer und ein Maßstab; das eine Mikrometer heißt Objectivmikrometer, weil es unter das Objectiv auf den Objectentisch gelegt wird; das andere wird zwischen die Ocular- und Collectivlinse gelegt und heißt daher Ocularmikrometer. Das Objectivmikrometer besteht aus einer auf Glas geritzten, in par. Linien oder Millimeter getheilte Linie. Der Träger dieser Theilung ist ein Glasstreifen von der Form der Objectengläser. Das Ocularmikrometer ist gleichfalls auf Glas geritzt und z. B. in $^1/_{20}$ par. Lin., resp. $^1/_{10}$ mm. getheilt (es giebt noch viel feinere Theilungen, die aber nur bei großen, stark vergrößernden Instrumenten Anwendung finden); das Glas hat Kreisform und läßt sich in die Ocularröhre auf die Blendung zwischen Ocular- und Collectivglas legen. Der Maßstab ist auf Glas oder Elfenbein aufgetragen und giebt par. Lin. oder Millimeter an.

Um nun mit diesen Hilfsmitteln die Vergrößerung irgend einer Linsencombination zu bestimmen, lege man das Objectivmikrometer auf den Objectentisch, mache sich rechts vom Mikroskop eine feste Unterlage in der Weite des deutlichen Sehens von der Oeffnung der Ocularröhre aus, und lege darauf ein Blatt weißes Papier so, daß es sich nicht leicht verschieben kann, etwa indem man es entweder mit Stiften oder mit arabischem Gummi an die feste Unterlage anheftet. Sieht man dann mit dem linken Auge in das Mikroskop und stellt dieses so ein, daß man das Bild des Mikrometers deutlich erblickt, so schwebt dasselbe Bild auch vor dem geöffneten rechten Auge und projicirt sich auf das Papier. Mit einem Zirkel, dessen Spitzen fein ausgezogen sind, fasse man den Zwischenraum zwischen zwei Theilstrichen zwischen die Zirkelspitzen und trage die Zirkelöffnung auf den Maßstab über, um zu bestimmen, wie vielen par. Linien das vergrößerte Bild von $^1/_{20}$ Lin. (oder wie vielen mm das Bild von $^1/_{10}$ mm) gleichkomme. Ist m die

gesuchte Vergrößerungszahl, und giebt der Zirkel auf dem Maßstabe n Lin. (resp. mm) an, so ist m. $^1/_{20}$ = n (oder m $^1/_{10}$ = n), also m = 20. n (oder bei mm. m = 10. n), d. h. man hat die auf dem Maßstabe gefundenen Linien mit 20 (bei mm. mit 10) zu multipliciren, um die Vergrößerung des Instruments zu finden. Man kann, statt mit dem Zirkel zu messen, auch geradezu den Maßstab in der Weite des deutlichen Sehens unter das rechte Auge legen, so daß sich das vergrößerte Bild von $^1/_{20}$ Lin. (oder $^1/_{10}$ mm.) auf den Maßstab projicirt, wo man dann sofort erkennen wird, wie viel Theile des Maßstabes dadurch gedeckt werden.

Für starke Vergrößerungen ist diese Methode nicht ganz zuverlässig; man wird für solche Fälle lieber in folgender Weise verfahren. Man bestimme die schwächste Vergrößerung auf die eben beschriebene Weise, lege dann das Ocularmikrometer auf die Blendung der Ocularröhre, während das Objectivmikrometer auf dem Objectentisch liegen bleibt, und beobachte, wie viel Theile des oberen Mikrometers auf einen Theil des unteren gehen; es seien n Theile; dann schraube man ein stärkeres Objectiv auf, z. B. wenn das erste das schwächste, Nr. 1, war, noch Nr. 2 dazu (Falls Nr. 1 und 2 zusammen die nach Nr. 1 nächstfolgende stärkere Vergrößerung geben), und sehe wieder zu, wie viel Theile des oberen Mikrometers einen Theil des unteren decken; sind dies p Theile, so vergrößert dieses Objectiv $\frac{p}{n}$ Mal so stark als das erste; war dort die Vergrößerungszahl m, so ist sie bei diesem m. $\frac{n}{p}$. Gerade so verfährt man mit allen noch übrigen Objectiven, immer sie auf das schwächste beziehend.

Wenn man die Vergrößerung, welche durch irgend ein Linsensystem erreicht wird, kennt, so ist die Messung der Objecte selbst leicht. Man legt das Object, das man messen will, auf den Objectentisch, stellt das Mikroskop scharf darauf ein, dann legt man seitwärts vom Instrument in die Weite des deutlichen Sehens einen Maßstab hin, auf den man mit dem freien Auge blickt; man wird dann das Bild des Objects auf den Maßstab projicirt sehen. So viele Längeneinheiten dieses Bild auf dem Maßstabe deckt, so viele mißt der Durchmesser des vergrößerten Bildes in der Richtung des Maßstabes; die so abgelesene Zahl durch die Vergrößerungszahl des gebrauchten Objectivs dividirt giebt die absolute Größe des Objects nach dieser Richtung. Will man die Größe nach einer anderen Richtung bestimmen, so muß man entweder das Objectenglas oder den Maßstab so drehen, daß die verlangte Richtung mit der des Maßstabes zusammenfällt.

Man kann die Objecte auch mit dem Schraubenmikrometer messen; ein ausgespannter Spinnefaden wird durch eine Mikrometerschraube von bekannter Ganghöhe über das vergrößerte Bild von einem Ende zum andern verschoben; aus der Zahl der Umdrehungen und dem Werth der Ganghöhe berechnet sich die Größe des Objects; natürlich muß das Mikrometer mit einem genauen Nonius verbunden sein. Will

man das durch das Mikroskop vergrößerte Bild eines Objects zeichnen, so verfährt man gerade so wie beim Messen der Objecte, nur daß man statt des Maßstabes ein Blatt Papier seitwärts neben das Mikroskop in die Weite des deutlichen Sehens legt. Erblickt man nun beim Durchsehen vor dem freien Auge das Bild auf dem Papier, so markire man sämmtliche Linien dieses Bildes leise mit einem sehr spitzen Bleistift; durch nachmalige Vergleichung der Zeichnung mit dem gesehenen Bilde wird es dann noch dies und jenes daran zu verbessern geben; zuletzt kann man die Zeichnung schärfer ausführen. Die ersten Versuche werden nicht vollkommen gelingen; durch einige Uebung aber lernt man auch die Schwierigkeiten überwinden, die hauptsächlich darin bestehen, das freie Auge stets unverrückt und unbeweglich auf demselben Punkte festzuhalten.

Wer ein Mikroskop lange Zeit in gutem, brauchbarem Zustande erhalten will, muß es vor Staub und anderen Unreinigkeiten sorgfältig schützen. Dazu ist nöthig, daß man es nach jedem Gebrauche aus einander nehme, in den dazu bestimmten Kasten lege und verschließe. Sollte man eine längere Untersuchung zu machen haben, so daß man das Instrument mehrere Tage hinter einander gebraucht, so sollte man es auf ein besonderes Fußbrett stellen, in welches rings herum ein kreisförmiger Falz eingeschnitten ist, worin eine Glasglocke paßt, die über das aufrecht stehende Mikroskop übergestülpt werden kann; diese Glocke sollte man jedesmal darüber setzen, wenn man zu beobachten aufhört. Um den Staub ganz abzuhalten, sollte der Falz mit Tuch oder Sammt ausgelegt werden.

Um das zusammengesetzte Mikroskop nach seiner inneren Einrichtung zu erklären, setze man auf der Prismenstange vor eine Sammellinse von kürzerer Brennweite ein Object außerhalb der Brennweite und erleuchte es durch die schon erwähnte große Sammellinse, indem man diese auf dem Prisma so anbringt, daß das helle Tageslicht darauf fällt und ihr Brennpunkt gerade auf das Object trifft. Es entsteht ein Bild des Objects hinter dem Glase; man setze hinter dieses Bild eine Sammellinse von etwas größerer Brennweite so, daß das für dieses Glas als Object dienende erste Bild innerhalb der Brennweite fällt, daß also das Glas wie eine Loupe dient. Sieht man nun von hinten durch das Glas, so wird man weiter vorn ein virtuelles, aber umgekehrtes Bild des Objects erblicken.

Dieses wird, mit Weglassung der Prismenstange, durch (Fig. 382) dargestellt. L stellt die Objectiv-, L_1 die Ocularlinse, F und F_1 ihre Brennpunkte, O o das Object vor. Durch die bekannte Construction entsteht das erste Bild B b, während die zweite Linse L_1 das Bild $B_1 b_1$ liefert.

Hier fehlt nun noch das Collectivglas, welches das Mikroskop erst zu der Vollkommenheit gebracht hat, die es in neuerer Zeit erreicht. Man bezeichnet den Fall, der beim Collectivglas in Betracht kommt, gewöhnlich als denjenigen, wo „das Object hinter dem Glase" sei. Ist

nämlich B b (Fig. 383) das durch das Objectiv erzeugte Bild (das Objectiv ist nicht in die Zeichnung aufgenommen), und man setzt die Sammellinse L_1 so davor, daß sich ihr Brennpunkt F_1 noch vor dem Bilde B b befindet, welches für das zweite Glas Object wird, so steht in der That das Object hinter dem Glase, und es entsteht die Frage, wie man hier das Bild construiren soll. Der Punkt B des ersten Bildes B b kann durch sehr verschiedene Strahlen entstanden sein, also auch wohl durch einen Parallelstrahl und einen Strahl, der für die Linse L_1 ein Hauptstrahl wäre, d. h. durch den optischen Mittelpunkt O dieser Linse ginge. Es ist wohl möglich, daß zur Entstehung des Bildes B b keiner dieser beiden Strahlen mitgewirkt hat; aber, Falls sie vorhanden gewesen wären, so hätten sie dasselbe Bild erzeugt. Man ziehe also von B zur Linse L_1 eine Linie BL_1 parallel mit der Achse AA; wir verlängern BL_1 beliebig über L_1 hinaus bis S, so daß SL_1 den auf L_1 auffallenden Parallelstrahl vorstellt, der, wenn die Linse L_1 nicht zwischengeschoben wäre, nach B ginge. Die Linse L_1 verhindert dies, da die auf sie fallenden Strahlen gebrochen werden und ihre Vereinigungspunkte nicht mehr in B b haben; das Bild B b kommt nicht zu Stande. Der Parallelstrahl SL_1 wird nach dem hinteren Brennpunkt F_1 gebrochen; der zweite Strahl OB wird, da er durch den optischen Mittelpunkt geht, nicht gebrochen, und beide Strahlen treffen sich in B_1; dieser Punkt B_1 ist also das durch die vorgesetzte Linse L_1 erzeugte Bild von B_1 oder vielmehr, durch die Linse L_1 wird bewirkt, daß statt des Bildes B b das Bild $B_1 b_1$ entsteht, welches kleiner ist als B b und weiter vorn liegt. Ganz dasselbe findet in Bezug auf jeden anderen Punkt des Bildes B b statt.

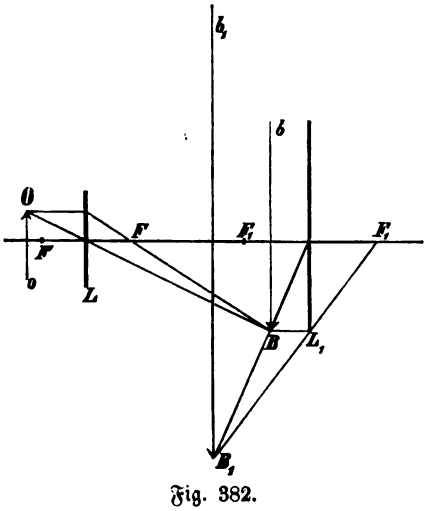


Fig. 382.

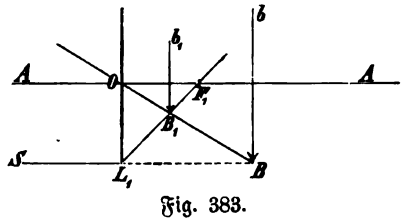


Fig. 383.

Die (Fig. 384) stellt nun schematisch das vollständige zusammengesetzte Mikroskop vor. Es ist hier Oo das Object außerhalb des Brennpunkts F des Objectivs L; B b das durch das Objectiv erzeugte,

verkehrte Bild; L_1 die Collectivlinse, die wir bis l verlängert denken; SIB ist ein Parallelstrahl, der in l nach dem Brennpunkt F_1 der Collectivlinse gebrochen wird; CB ist ein nach B gerichteter Strahl, der für die Linse L_1 einen Hauptstrahl bildet, also ungebrochen bleibt; es entsteht so das zweite Bild B_1 b_1 innerhalb der Brennweite der Linse L_2, welche daher hier als Loupe wirkt und beim Durchsehen das virtuelle Bild B_2 b_2 liefert.

Auch dieser Fall, wo auch die Collectivlinse in Anwendung kommt, läßt sich auf der Prismenstange darstellen.

Das Collectivglas wird jetzt stets mit dem Ocular vereinigt in ein Rohr gefaßt; zwischen beiden wird eine Blendung angebracht, welche die Randstrahlen zurückhält und dadurch wesentlich dazu beiträgt,

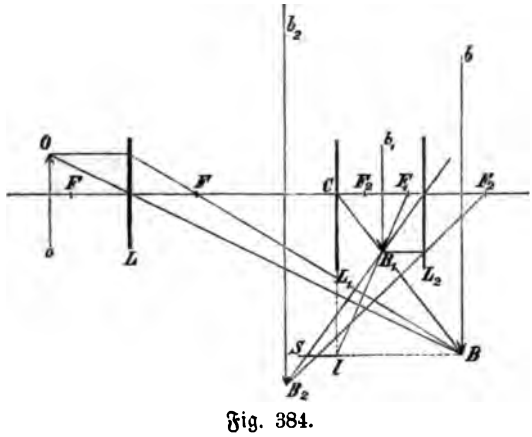


Fig. 384.

ein Bild ohne die sonst unvermeidlichen farbigen Ränder zu liefern. Man wird es, bei unserem Versuche auf der Prismenstange, nicht dahin bringen, farblose Bilder zu bekommen, weil unsere Objectivgläser nicht achromatisch sind, der ganze Versuch überhaupt nur eine deutliche Anschauung von der Zusammenstellung der verschiedenen Linsen im zusammengesetzten Mikroskop geben soll. Im wirklichen Mikroskop ist jedes Objectivglas aus einer convexen Crown- und einer concaven Flintglaslinse zusammengesetzt; dadurch werden zwar die Farben nicht ganz aufgehoben, aber es werden doch die grellsten, am leichtesten in die Augen fallenden Farben zerstört. Das Ocular ist nicht achromatisch; es werden daher durch dieses wieder Farben entstehen; eine geschickte Wahl in der Brennweite und Stellung des Collectivglases kann dazu beitragen, diese Farben so weit aufzuheben, daß wenigstens das beobachtende Auge sie nicht wahrnimmt. In der Wirklichkeit bleibt, wie die Rechnung nachweist, bei allen bisherigen Combinationen eine Spur von Farben; sie ist aber so gering, daß bei wirklich guten Mikroskopen, wie sie jetzt

von den besten Werkstätten geliefert werden, das Auge Nichts davon wahrnimmt.

Es ist Gebrauch geworden, von gewissen Objecten, welche feine Zeichnungen aufweisen, anzugeben, was man in einem guten Mikroskop darauf sehen müsse. Man hat die Objecte Probe- oder Testobjecte genannt. Sie können, wenn man das, was man selbst darauf sieht, mit dem vergleicht, was geübte Mikroskopiker mit entschieden guten Instrumenten daran gesehen haben, dazu dienen, theils über seine eigene Fertigkeit im Beobachten ein Urtheil zu gewinnen, theils sein Instrument damit auf die Probe zu stellen; letzteres freilich erst dann, wenn man seiner eigenen Beobachtungskunst sicher ist und durch längeren Gebrauch eines guten Instruments Uebung erlangt hat. Solche Testobjecte müssen natürlich je nach der Qualität des Instruments verschieden sein; einem Mikroskop von mäßiger Stärke darf man nicht die feinsten Zeichnungen bieten, da es sie nicht auflösen, nicht in allen Theilen sichtbar machen würde; für stärkere Instrumente dagegen können gröbere Objecte nicht als Probeobjecte dienen.

Vorzüglicher als alle natürlichen Objecte sind die Nobert'schen Probeplatten. Dies sind Glasplatten mit Gruppen paralleler Linien von immer abnehmender Entfernung; in der ersten Gruppe haben die auf das Glas radirten Parallelen $\frac{1}{1000}$ par. Lin. Entfernung, in der zweiten $\frac{1}{1500}$, in der dritten $\frac{1}{2000}$ u. s. f. bis zur 19. Gruppe mit $\frac{1}{10000}$ Lin. Abstand. Die feinste Gruppe, die ein Mikroskop noch in deutlich getrennte Linien aufzulösen vermag, bestimmt nun nach Maß und Zahl die Grenze der Leistungsfähigkeit des Instruments, die nicht blos die vergrößernde Kraft, sondern auch die Helligkeit und Deutlichkeit der Bilder in sich schließt, während letztere wieder durch die Aufhebung der sphärischen und chromatischen Abweichung bedingt ist. Die Nobert'schen Probeplatten machen alle anderen Probeobjecte überflüssig.

Bei der Anschaffung eines Mikroskops ist die äußerste Vorsicht anzurathen; ein gutes Mikroskop ist theuer, ein wohlfeiles wird den Anforderungen nicht entsprechen. Man wird auch hier, wie bei allen größeren Apparaten am sichersten gehen, wenn man sich an eine größere, bewährte Werkstatt hält. Ob man sich mit einem kleineren, wie sie für 30—40 Thlr. zu erhalten sind, begnügen oder aber zum doppelten Preis gehen will, hängt ja von den zu Gebote stehenden Mitteln ab. Wer nicht gerade sich auf feinere naturhistorische, physiologische oder andere Untersuchungen einzulassen gedenkt, wird mit einem kleineren Instrumente zu dem angegebenen Preis vollkommen auskommen. Wer aber ein größeres Instrument zu gebrauchen gedenkt, der muß auch in Werken, die besonders über Mikroskopie geschrieben sind, Einrichtung und Behandlung desselben studiren.

Die Prüfung des Mikroskops muß sich erstrecken auf das Maß der Vergrößerung, die Deutlichkeit und Helligkeit der Bilder. Die Vergrößerung wird man nach der oben gegebenen Anleitung prüfen. Zur Prüfung der Deutlichkeit und Helligkeit ist eine große Uebung im mikroskopischen Sehen erforderlich, die man nur durch längeren Gebrauch entschieden guter Instrumente erlangen wird. Bestimmte Vorschriften lassen sich darüber nicht geben, außer was Jeder schon von selbst weiß, ob er nämlich das Object in scharfer Begrenzung und die Ränder frei von Farben erblicke, ob die einzelne Zeichnung (das Detail) in deutlich ausgeprägten Linien erscheine und ob das Feld sich klar und hinreichend stark erleuchtet zeige. Wie viel darin durch die Technik geleistet werden kann, muß man von guten Instrumenten lernen.

Hat man ein neues Mikroskop erhalten, so beobachte man beim Herausnehmen aus dem Kasten genau die Vorschriften, die oben S. 74 und 75 über das Verfahren hiebei gegeben sind. Um nach der Aufstellung des Instruments ein Urtheil über den Bau desselben zu gewinnen, sehe man zu, ob der Fuß die nöthige Festigkeit habe; damit das Instrument nicht bei der geringsten Veranlassung in Vibrationen gerathe, welche jede Beobachtung unmöglich machen, muß der Fuß massiv und schwer sein. In früheren Zeiten gab man den Mikroskopen drei dünne, geschweifte Füße, die zwar sehr zierlich aussahen, aber das Instrument unbrauchbar machten. Der Werth von ein Paar Pfund Messing überwog die auf die Linsen, die Hauptsache bei Mikroskopen, verwendete Arbeit. Jetzt erhält der Fuß die Form einer dicken und schweren kreisförmigen Scheibe, oder auch eines Hufeisens. Das Rohr sollte aus starkem Messingblech gemacht sein; selbst die Fassungen der Linsen nehmen, je nach der Werkstatt, ein verschiedenes Ansehen an und bekunden dem Geübten auf den ersten Blick die größere oder geringere Solidität der Arbeit.

Wegen des Reinigens und Reinhaltens des Mikroskops verweise ich auf das oben S. 68—70 Gesagte.

b. Fernröhre.

Zur Erklärung aller Arten Fernröhre bediene ich mich, wie beim Mikroskop, der auf das Stativ gesetzten Prismenstange. Hier dient aber die größere Linse nicht zur Beleuchtung (das Object ist ja ein ferner Gegenstand), sondern als Objectiv; dieses bringt von entfernten Objecten ein kleines verkehrtes Bild im Brennpunkte hervor. Von der Art, wie dieses Bild durch ein Ocular beobachtet wird, d. h. von der Beschaffenheit des Oculars hängt nun die Gattung der Fernröhre ab. Setzt man eine Sammellinse von kurzer Brennweite so hinter dieses Bild, daß dasselbe (das erste Bild) noch innerhalb der Brennweite des Oculars fällt, so kann man durch richtige Stellung der Ocularlinse das zweite (virtuelle) Bild vor dem Glase in die Weite des deutlichen Sehens bringen. (Fig. 385). Es ist dies ebenfalls ein verkehrtes, aber

vergrößertes Bild. Diese Linsencombination stellt das astronomische Fernrohr dar. Wie man sieht, wird das erste Bild mit dem Ocular wie durch eine Loupe betrachtet.

Auch beim astronomischen Fernrohr wendet man jetzt immer, wie beim Mikroskop, eine Collectivlinse an. Welche Lage das Collectivglas erhalte, hängt hier davon ab, ob das Fernrohr zu Messungen eingerichtet sei oder nicht; denn im ersten Fall muß es Kreuzfäden erhalten, die im anderen nicht nöthig sind. Bei Fernröhren zur bloßen Beobachtung, die nicht zu Messungen eingerichtet, also nicht mit getheiltem Kreis versehen sind und keine Kreuzfäden haben, kann das Collectiv gerade so gestellt werden wie beim Mikroskop, so daß zwei Bilder zwischen dieses und das Ocular zu liegen kommen. Wollte man aber diese Anordnung der beiden Ocularlinsen auch beibehalten, wenn zugleich ein Fadenkreuz mit dem Fernrohr verbunden wird, so müßte dieses an die Stelle kommen, wo sich das durch die Collectivlinse hervorgebrachte Bild befindet und würde dann beim Einstellen des Doppeloculars mit

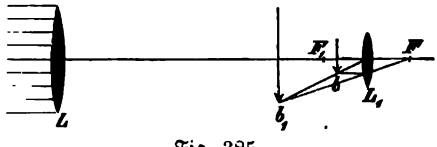


Fig. 385.

diesem zugleich verschoben werden müssen, weil beide Linsen in ein und demselben Rohr angebracht sind. Dies würde aber den Nachtheil mit sich führen, daß der Kreuzungspunkt der Fäden nicht immer genau in die Achse des Fernrohrs zu stehen käme, weil dies eine Vollkommenheit des Baues voraussetzen würde, wie keine menschliche Arbeit je erreichen wird. Ramsden setzte deshalb das Fadenkreuz in den Brennpunkt des Objectivs, da wo das erste Bild entsteht, wo dann das Collectiv und Ocular zusammen wie eine zusammengesetzte Loupe wirken und bei richtiger Einstellung ein deutliches und vergrößertes Bild sowohl des ersten Bildes, als auch des Fadenkreuzes in der Weite des deutlichen Sehens geben; da das Fadenkreuz unverändert seine Stellung beibehält, so kann es vom Künstler ein für allemal richtig gestellt werden. Wer sich über die Einrichtung solcher Fadenkreuze und ihre Anfertigung genauer zu unterrichten wünscht, findet Auskunft darüber in meiner „Geodäsie" p. 125 u. flgde.

Obgleich es gerade nicht sehr nahe liegt und kaum je vorkommen wird, kann es doch einmal geschehen, daß die Kreuzfäden entweder beschädigt werden, oder ihre Dienste aus anderen Gründen versagen. Es wird unter Umständen wünschenswerth sein, die Fäden selbst durch neue ersetzen zu können. Zu diesem Zwecke nehme man den Ring, worauf sie ausgespannt werden sollen, aus dem Fernrohr heraus, fertige auf der Drehbank einen Messingcylinder an, der genau in die kreis-

förmige Oeffnung der Platte paßt, so daß er durch Reibung einigermaßen darin festhält; schön cylindrisch braucht er nur in einer Länge, die der Dicke der Platte gleich kommt, zu sein, das übrige kann beliebig geformt sein, aber die Endfläche am abgedrehten Theil muß genau senkrecht zum Cylindermantel stehen, auch muß man beim Abdrehen gleich das Centrum markiren, was hiebei leichter geht, als wenn man es nachher auf anderem Wege suchen wollte. Nun stecke man das cylindrische Ende dieses Körpers so in die Oeffnung der Platte, daß die Endfläche mit der Oberfläche der Platte genau in eine Ebene zu liegen kommt; darauf schraube man das unten vorragende Stück des Cylinders in einen Schraubstock, so daß die Platte horizontal zu liegen kommt, und reiße durch den Mittelpunkt mit einem stählernen Instrument (etwa eine spitz zugeschliffene Feile) zwei auf einander senkrechte Linien. Man wird sie erst nur etwa mit einem weichen Bleistift leicht markiren, nochmals prüfen, ob sie genau durch den Mittelpunkt gehen und rechtwinklig seien, dann erst leise und nachgehends mit demselben Instrument tiefer einreißen. Am Rande der so gezogenen Furchen entsteht ein Grat, den man auf einer ebenen Kupferplatte mit etwas Smirgel und Wasser abschleift. Nun ziehe man den eingesteckten Cylinder etwas zurück, so daß seine Endfläche etwas tiefer zu stehen kommt als die Ebene der Platte, lasse ihn aber sonst noch in der Oeffnung stecken, weil er als gute Handhabe dienen kann; man befestige ihn also wieder wie vorhin im Schraubstock. Nun suche man ein Spinnengewebe (Manche meinen, daß die Fäden der gemeinen Kreuzspinne anderen vorzuziehen seien; ich glaube aber daß alle unsere gewöhnlichen Hausspinnen ein brauchbares Fabrikat liefern), und ziehe einen Faden heraus; da mitunter die ersten Versuche mißlingen, so verschaffe man sich gleich einen Vorrath. Den ausgezogenen Faden ziehe man dann einigemal zwischen zwei Fingern durch, um ihn von Staub zu reinigen, dann behauche man ihn und ziehe ihn, während er feucht ist, wieder durch die Finger, damit er sich soweit ausdehne, als er in diesem Zustande kann. Nun befestige man mit warm gemachtem Klebwachs das Ende des so präparirten Fadens in der in die Platte eingerissenen feinen Rinne, befestige einen anderen, entfernten Punkt desselben ebenfalls mit Klebwachs an einem Stäbchen, ziehe den Faden über die eine eingerissene Linie fort, behauche und strecke ihn abermals, lege ihn dann vollends in die auf der anderen Seite schon voraus mit flüssigem Klebwachs versehene Rinne und lasse das Klebwachs erstarren. Dann prüfe man den Faden sofort mit einer Loupe, um zu sehen, ob er eine schöne gerade Linie bildet, straff genug gespannt sei, behauche ihn wieder, betrachte ihn nochmals durch die Loupe; sollte er nicht ganz straff und gerade sein, so müßte man ihn durch einen neuen ersetzen, sonst kann der Faden als fertig aufgezogen angesehen werden; den zweiten zieht man eben so auf. Nachdem das überflüssige Klebwachs sorgfältig entfernt worden, streicht man etwas Schellacklösung über die Stelle und läßt sie gut antrocknen.

Man zieht jetzt gewöhnlich nach der einen Richtung zwei Parallelfäden auf, die etwa 2 mm. Abstand von einander haben, weil man den Mittelpunkt des Feldes als Mitte zwischen beiden Fäden noch besser fixiren kann als wenn ein einzelner Faden gerade durch den Mittelpunkt geht und da von einem anderen rechtwinklig durchschnitten wird.

Die Behandlung, Reinigung und Vorsicht beim Gebrauch des Fernrohrs ist ganz wie beim Mikroskop. Wir müssen indeß noch besonders darauf aufmerksam machen, daß man das achromatische Objectiv, auch wenn man sonst alle Linsen einmal reinigt, wenigstens nicht aus einander nehmen sollte, weil es meist darauf ankommt, daß die beiden Linsen genau in der Lage zusammen liegen, die der Künstler ihnen gegeben hat. Es wird auch kaum je nöthig sein; denn wenn das Instrument nicht ganz schlecht behandelt worden, wird sich zwischen beide Linsen kaum je Staub eindrängen.

Dem astronomischen Fernrohr werden meist terrestrische Oculare beigegeben, die alle in einer Röhre vereinigt sind, welche statt des astronomischen Oculars auf die Objectivröhre geschraubt werden kann.

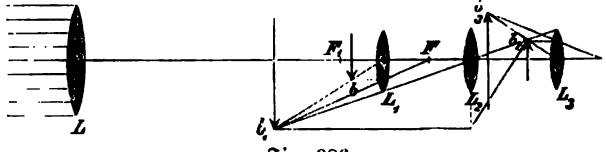


Fig. 386.

Sonst hat man auch kleinere terrestrische Fernröhre, die zum Zwecke des leichteren Transportes so in einander geschoben werden können, daß sie nur ein kurzes Rohr bilden.

Mit unserer Prismenstange ist es leicht, auch das terrestrische Fernrohr zu veranschaulichen. Drei Sammellinsen L_1 L_2 L_3 (Fig. 386) von gleicher Brennweite werden so aufgestellt, daß der Brennpunkt des Objectivs innerhalb der Brennweite des ersten Oculars fällt; die anderen beiden Linsen so, daß der vordere Brennpunkt jeder in den hinteren der vorangehenden zu liegen kommt. Das durch das erste Ocular L_1 erzeugte Bild kommt dann vor den Brennpunkt der ersten Linse zu liegen (die Linse wirkt wie eine Loupe), ist aber noch verkehrt, wie das durch das Objectiv hervorgebrachte, also ein virtuelles Bild; die zweite Linse macht ein wirkliches Bild innerhalb der Brennweite des dritten Oculars und kehrt das Bild um, liefert also ein aufrechtes Bild des Gegenstandes; durch das letzte Ocular wird dieses Bild noch vergrößert.

Um das holländische Fernrohr auf der Prismenstange herzustellen, setzt man zu dem convexen Objectiv ein concaves Glas so auf, daß das durch ersteres erzeugte Bild noch hinter die hintere Brennweite des Concavglases fällt. Wie beim Mikroskop und beim astronomischen Fernrohr tritt also hier der Fall, wo „das Object hinter dem Glase" ist, ein, nur daß hier das concave Ocular selbst an die Stelle des

dortigen convexen Collectivglases tritt. Die Construction des Bildes wird eben so gemacht, wie dort, und ist in (Fig. 387) angedeutet.

Zu größeren Fernröhren, namentlich zu den astronomischen und größeren terrestrischen wird häufig ein messingenes Stativ geliefert, das man bei der Beobachtung auf einen Tisch setzen muß. Es hat gewöhnlich drei dünne Beine, die bei der geringsten Veranlassung in's Zittern gerathen und die Beobachtung unmöglich machen. Ueberdies wird selten ein Tisch von der nöthigen Festigkeit und passenden Höhe zur Hand sein. Ich ziehe daher Stative von Holz mit massivem, schwerem Dreifuß, wie A (Fig. 388), die man auf den Fußboden setzt, allen anderen vor. Das Stativ wird der Länge nach durchbohrt und seitwärts mit einer Druckschraube S

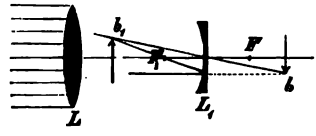


Fig. 387.

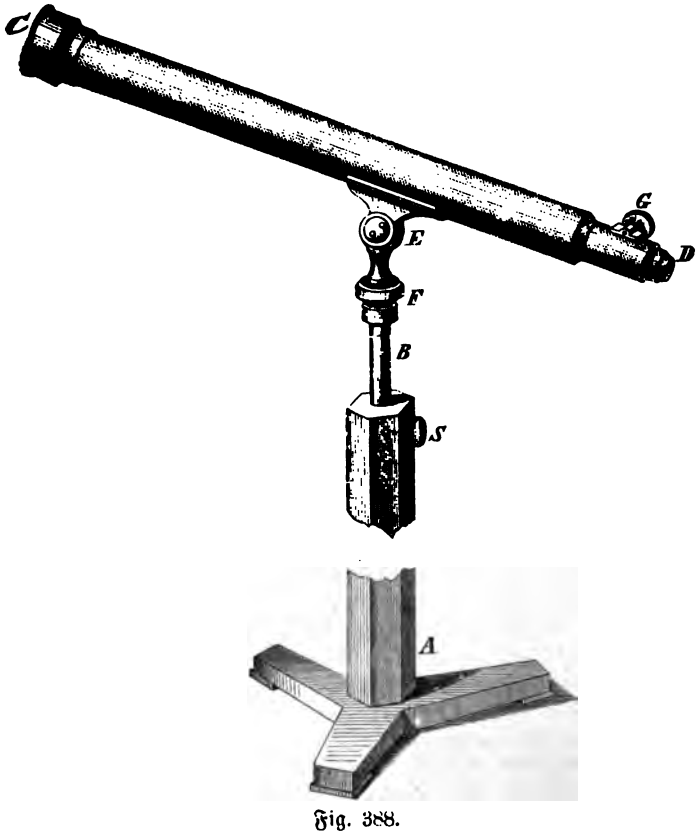


Fig. 388.

versehen; als Träger des Rohrs dient eine eiserne Stange oder ein Gasrohr B, worauf man das Fernrohr CD mit derselben Schraube aufsetzt, mit welcher es auf das messingene Stativ aufgeschraubt wurde. Ein Gelenk E zur Horizontal-, und ein anderes zur Verticalbewegung sind bereits vorhanden. So aufgestellt ist das Instrument fest und kann in beliebiger Höhe, die für das Auge paßt, festgestellt werden. Unsere Figur giebt zugleich die äußere Ansicht eines größeren Fernrohrs, C ist der Deckel über das Objectiv, bei D wird das Ocular eingeschraubt; durch das Trieb G und eine gezahnte Stange im Inneren wird das Ocular eingestellt bis das Bild die größte Deutlichkeit zeigt.

Fernröhre, die dazu bestimmt sind, bei sehr großen Elevationswinkeln gebraucht zu werden, z. B. um Zenithdistanzen der Sterne zu messen, müssen noch eine etwas andere Einrichtung haben, da es sehr unbequem ist, in einem fast verticalen Rohr zu beobachten; wir können nicht gut von Unten nach Oben in das Rohr hineinsehen. Bei diesen Instrumenten ist das Ende des Rohrs geschlossen, es wird aber ein rechtwinkliges Glasprisma in das Rohr eingesetzt. (Fig. 389) stellt das Ocularende eines solchen Fernrohrs vor; LL ist die Ocularlinse, abc das rechtwinklige Glasprisma, de eine Seitenöffnung im Rohr. Die vom Bilde kommenden Strahlen, die sonst unmittelbar ins Auge fallen, werden nun, wie sr, an der Hypotenusenfläche ac des Prismas total reflectirt, so daß ein Auge in der Richtung rO sie empfängt und das Bild gerade so deutlich sieht, wie sonst in der Richtung der Rohrachse. Diese Figur ist nach einem Instrumente gezeichnet, das, zu Messungen, mit Kreuzfäden versehen ist; deswegen mußte die Ocularlinse vor dem Prisma angebracht werden, weil das Fadenkreuz im Brennpunkt des Objectivs stehen muß. Wenn keine Kreuzfäden vorhanden wären, könnte man das Ocular, wie bei dem Newton'schen Spiegelteleskop, in die Seitenöffnung de setzen.

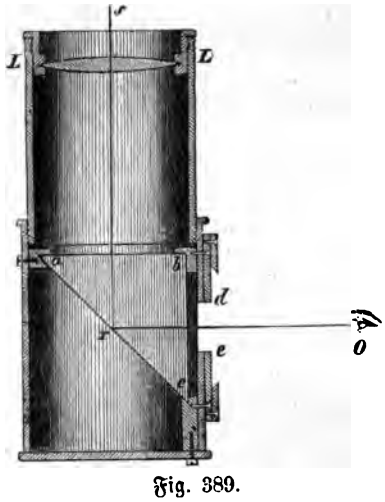


Fig. 389.

c. Verschiedene dioptrische Instrumente.

α. Das Sonnenmikroskop.

Das Sonnenmikroskop ist eigentlich ein einfaches Mikroskop. Wir stellen dasselbe in (Fig. 390) nach seinem inneren Bau, in (Fig. 391)

die äußere Ansicht eines Theils desselben, der die Linse, das Object und den Bewegungsapparat enthält, in größerem Maßstabe, dar. Der äußerste Theil AA mit der Convexlinse LL ist eigentlich ein Zubehör der Heliostatplatte, ist von Außen in diese geschraubt und kann davon getrennt werden, wenn die Linse nicht nöthig ist. Innerhalb des Zimmers wird das bis BB reichende Rohr in die Heliostatöffnung geschraubt, in dieses das Rohr BC; in dieses setzt man die eigentlich vergrößernde Linse O ein. Das Rohr BC ist eigentlich doppelt, indem zwei Röhren über einander geschoben sind, HHCC über BJ; das äußere trägt die Linse O und kann über dem inneren mittelst des Triebknopfes F und

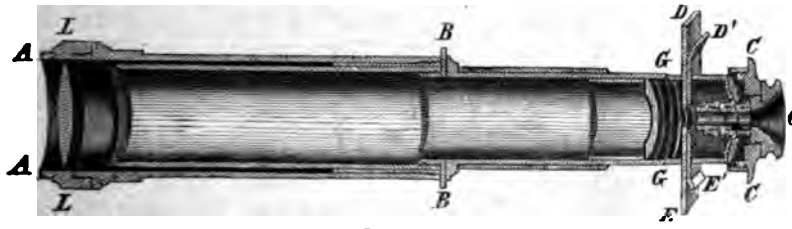


Fig. 390.

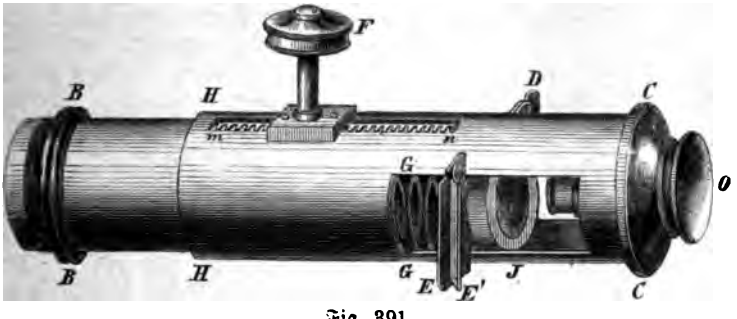


Fig. 391.

der in den Rand eines Schlitzes mn geschnittenen Zähne verschoben werden. Zwei Platten DE, D'E' nehmen zwischen sich den Objectträger auf und werden durch eine Spiralfeder GG an einander und gegen den Endring J des inneren Rohrs gedrückt. Da diese letzterwähnten Theile mit dem inneren, unbeweglichen Rohr in Verbindung stehen, so bleibt das Object, bei der Verschiebung der äußeren Röhre unverändert an seiner Stelle. Die Linse LL muß nun eine solche Brennweite haben, daß der Brennpunkt gerade auf das Object fällt; die vom Heliostatspiegel auf die Linse auffallenden Parallelstrahlen werden dann auf dem Object concentrirt und beleuchten es so stark, daß es die starke Vergrößerung, die es durch die Linse O erfährt, vertragen kann. Durch das Trieb wird nun die Linse so verschoben, daß das Object etwas außerhalb

ihres vorderen Brennpunkts zu liegen kommt. Daß die Linse die rechte Stellung erhalten habe, erfährt man durch die Deutlichkeit des Bildes, welches sie auf einem in 5 m. oder noch größerer Entfernung dahinter im ganz verfinsterten Zimmer aufgestellten weißen Schirm entwirft. Es kann dies ein aufgezogener Papierschirm, eine straff ausgespannte Leinwandfläche oder die weiße Zimmerwand sein. Ist der Schirm beweglich, so kann man ihn dem Instrument nähern oder weiter davon entfernen und erhält dann kleinere oder größere Bilder; die kleineren sind natürlich lichtvoller und bei richtiger Einstellung der Linse deutlicher. Daß das Bild ein umgekehrtes ist, leuchtet ein, das Object muß daher, wenn es ein solches ist, bei dem auf die Lage etwas ankommt, umgekehrt eingesetzt werden.

In unserer Zeichnung, welche nach einem sehr guten englischen Exemplar gemacht ist, sind drei Linsen zu sehen; diese drei Gläser stellen aber eine einzige von stärkerer Krümmung, kürzerer Brennweite vor; man erreicht dadurch zugleich den Vortheil, daß die sphärische Abweichung geringer wird als bei einer Linse, welche eben so stark vergrößert wie solche Combination.

Man kann durch das Sonnenmikroskop zwar sehr starke Vergrößerungen erzielen, aber die Schärfe und Deutlichkeit der durch das zusammengesetzte Mikroskop gelieferten Bilder wird durch das Sonnenmikroskop nie erreicht. Zu wissenschaftlichen, physiologischen, naturhistorischen u. a. Zwecken wird es daher wohl nie verwendet werden können; es kann aber für ein größeres Publikum eine angenehme, zum Theil auch lehrreiche Unterhaltung gewähren.

β. Die dunkle Kammer (camera obscura).

Die dunkle Kammer hat in neuerer Zeit durch die Photographie eine große Wichtigkeit erlangt, wurde aber vordem auch schon zum Nachzeichnen von Gegenständen vielfach gebraucht. Ihre Einrichtung ist je nach dem Zweck, wozu sie bestimmt ist, verschieden. Ein hölzerner Kasten ABCD (Fig. 392) wird auf einer Seite mit einem Messingrohr EE'FF' versehen, in welches eine Sammellinse LL eingesetzt wird. Von entfernten Gegenständen, wie ss', entsteht hinter der Linse ein verkleinertes, verkehrtes Bild; man muß sich das Object ss' weiter entfernt denken, so daß es aus dieser größeren Entfernung von der Mitte O der Linse aus doch unter demselben Winkel sOs' erschiene, eine Zeichnung mit den richtigen Entfernugen würde zu groß ausfallen. Die Linse LL befindet sich in einem besonderen Rohr FF, das sich in EE' verschieben läßt; dies ermöglicht es, der Linse gerade eine solche Stellung anzuweisen, daß das Bild s,s,' auf die Rückwand des Kastens fällt. Hat man in die Rückwand einen durchscheinenden Stoff, etwa Leinenpapier oder eine matt geschliffene Glasscheibe eingesetzt, so kann man von Hinten das verkleinerte Bild sehen. Aber dieses Bild ist verkehrt, weil der Gegenstand weit entfernt von der Sammellinse ist. Um dem

Bilde eine Lage zu geben, in der es dem Beschauer aufrecht erscheint, setzt man in Q einen gegen die Achse OP der Linse und des Rohrs unter 45° geneigten Spiegel BG, der den Lichtkegel RR'O nach Oben reflectirt und das Bild s,s,' als SS' auf die Decke des Kastens wirft. Bringt man da einen durchscheinenden Stoff an, so erblickt man von der Seite B aus das Bild aufrecht. Um es aber deutlicher zu sehen, muß man das äußere Licht abblenden; dazu dient

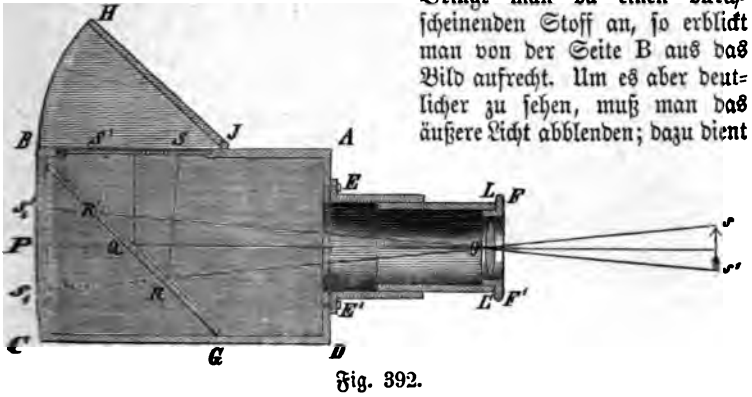


Fig. 392.

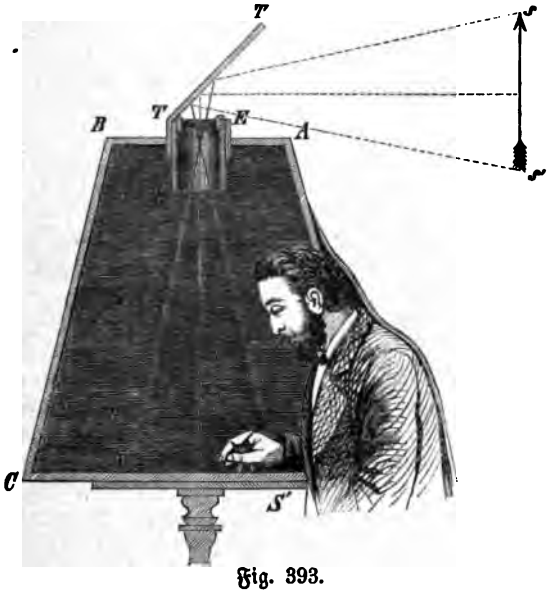


Fig. 393.

die in Charnieren bewegliche Platte HJ, während der Beobachter sich seitwärts und rückwärts mit einem von der Plattenkante H und den beiden Seitenkanten HJ herabhängenden Stück Zeug bedeckt.

Zum Nachzeichnen der Bilder dürfte die Form der (Fig. 393)

noch geeigneter sein. Hier fallen die von den Gegenständen kommenden Strahlen zuerst auf den unter 45° geneigten Spiegel TT; die Linse steckt in einem Rohr ET, das in der Decke des Kastens angebracht ist und kann darin durch ein in die Zeichnung nicht aufgenommenes Trieb höher oder tiefer gerückt werden, je nachdem die Entfernung der Gegenstände es erfordert. Vom Spiegel TT werden die Strahlen auf die Linse geworfen, diese erzeugt ein wirkliches Bild SS' auf dem Boden des Kastens. Legt man dorthin ein Blatt weißen Zeichenpapiers und hält das äußere Licht von der Seitenöffnung ab, was durch Ueberhängen eines Stücks Zeug geschieht, so kann man die Bilder deutlich sehen und zeichnen; sie sind für den davor Stehenden aufrecht.

Allemal müssen die Gegenstände, wenn gute Bilder davon entstehen sollen, gut beleuchtet sein; am besten ist es, wenn die der Kammer zugekehrte Seite derselben von der Sonne beschienen wird. Die Linse sollte achromatisch sein; für photographische Aufnahme ist dies eine unerläßliche Forderung; diese können überhaupt auch nur gelingen, wenn man ein eigenes dazu eingerichtetes Zimmer hat, worin das geeignete Licht vorhanden ist.

γ. Die Zauberlaterne (laterna magica)

von Kircher dient zwar mehr zur angenehmen Unterhaltung; wer indessen den Bau derselben und die Wirkung der darin befindlichen Linsen kennt, und die Bilder nachconstruiren kann, wird doch nicht ohne Nutzen Gebrauch davon machen.

Ein Kasten ABCD aus schwarzem Blech enthält eine mit einem Glascylinder versehene Petroleumlampe E (Fig. 394), hinter derselben ist ein Hohlspiegel S so angebracht, daß der Brennpunkt gerade in die Flamme fällt, wo dann die Strahlen vom Spiegel parallel zurückgeworfen werden (Fig. 395). An der Vorderseite des Kastens befindet sich der Apparat MNP (Fig. 394), welcher dazu bestimmt ist, die auf Glas gezeichneten Bilder aufzunehmen; die vordere Wand ist beweglich und wird, nachdem die Glasplatte dazwischen geschoben, durch eine Feder wieder dicht an diese angedrückt. Die Bilder werden mit durchscheinenden Lackfarben gemalt und durch die Lampe mit Spiegel stark beleuchtet. Mit dem Kasten MNP steht ein kurzes Rohr F in fester Verbindung; in F wird dann das aus zwei Theilen bestehende Rohr GG' eingeschoben und durch den sogenannten Bajonnetverschluß bei a befestigt, während G' in G durch ein Trieb mit Zahnstange t verschiebbar ist. Hier sind zwei Sammellinsen angebracht; die Art, wie diese Linsen in den Apparat eingefügt sind, ist nun verschieden; bei einigen Exemplaren ist die eine in G, die andere in G' gesetzt, so daß ihre gegenseitige Entfernung durch das Trieb t verändert werden kann, während die Linse im Rohre G ihre Stelle beibehält. Ich habe ein Exemplar vor mir, wo beide Linsen im Rohr G' unveränderlich befestigt sind, so daß nur beide zugleich dem eingelegten Bilde genähert, oder davon entfernt werden

ien. Der Zweck, auf einem entfernten Schirm ein vergrößertes
) der eingelegten Zeichnung hervorzubringen, läßt sich bei der einen
richtung so gut wie bei der anderen erreichen. Vor der vordersten
e hat das Rohr G' noch, einen durch den Griff und Hebel K zu

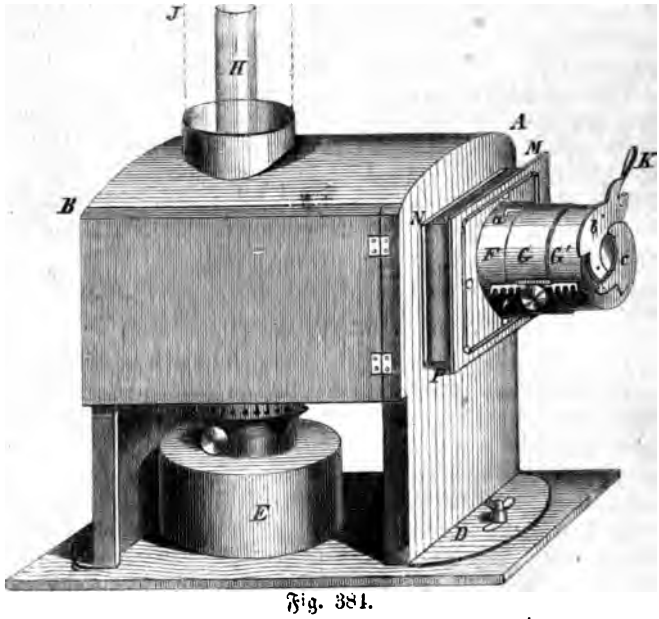


Fig. 384.

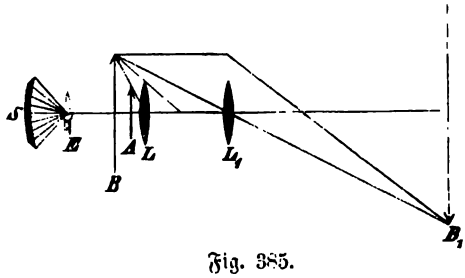


Fig. 385.

enden Verschluß, um die Austrittsöffnung des Lichtes zum Theil
ganz abzuschließen; sie besteht aus zwei Theilen b und c, die auf
rückseite durch einen Streifen verbunden sind, so daß, bei einer
ng des Griffes K, b und c sich immer nach entgegengesetzter

Seite bewegen. (Fig. 395) zeigt den Gang der Strahlen: A ist die eingelegte Zeichnung innerhalb der Brennweite der Linse L; es entsteht durch L das virtuelle Bild B vor dem Glase und aufrecht; die Linse L_1 ist so gestellt, daß B außerhalb ihrer Brennweite fällt; sie macht also ein wirkliches Bild B_1 jenseits des Glases, das verkehrt und vergrößert ist, weil B nahe am Brennpunkt von L_1 liegt. Schiebt man das Rohr G_1 (Fig. 394) weiter in G hinein, so kommt die Zeichnung A näher an die Linse L heran, das Bild B wird also kleiner und kommt näher an den Brennpunkt von L_1 zu stehen, das Bild B_1 rückt also weiter hinaus. Da das letzte Bild verkehrt ist, so steckt man die Glaszeichnungen A verkehrt ein. Ueber den Glascylinder H wird, um das Zimmer ganz dunkel zu machen, noch ein Blechschornstein J gesetzt, der in der Figur nur angedeutet ist.

Zum Auffangen der Bilder dient am besten ein großes Stück naß gemachte Leinewand, die straff ausgespannt wird. Befindet sich der Zuschauer dahinter, so erblickt er die vergrößerten Bilder, bei ausreichender Beleuchtung der Zeichnung A, auf der Leinewand sehr deutlich.

20. Interferenz.

α. Interferenzspiegel.

Fresnel's Interferenzspiegel sind zwei Spiegel AB, CD (Fig. 396) aus schwarzem Glase, oder aus Obsidian, aus Metall oder aus gewöhnlichem Glase, das an der Rückseite geschwärzt ist, quadratisch mit

Fig. 396.

Seiten von etwa 25 mm Länge; mit Zinnamalgam belegte Spiegel sind nicht zu gebrauchen, weil sie mehrere Bilder geben; die genannten reflectiren blos von der Vorderfläche, bei den schwarz bemalten wird das zur Hinterfläche dringende Licht vollständig absorbirt. Die Spiegel werden auf eine Unterlage von Metall befestigt, so daß sie einen stumpfen Winkel mit einander bilden, der ganz nahe an 180° beträgt. Die Unterlage erhält einen Stiel, um auf ein Stativ gesetzt zu werden. Die Zeichnung ist ein zu den Spiegelebenen senkrechter Durchschnitt. Man kann sie auch so einrichten, daß sie mittelst einer Schraube verstellt und unter verschiedenen Winkeln gegen einander geneigt werden können; der Umfang der Aenderung ihrer Lage braucht aber nur sehr klein zu sein, da der Winkel nie viel von 180° abweichen darf. Für bloße Unterrichtszwecke ist übrigens diese Einrichtung der Spiegel nicht nöthig. Vor Allem ist darauf zu sehen, daß die reflectirenden Ebenen vollkommen plan sind und die zusammenstoßenden Kanten eine reine gerade Linie bilden, keine derselben vor der anderen vorsteht.

Man kann den Versuch mit weißem und auch mit monochromatischem Licht anstellen. Im ersten Falle kann man directes Sonnenlicht oder sonst eine künstliche Lichtquelle gebrauchen, eine Gas- oder Petroleumflamme, ja selbst eine Kerzenflamme; zum Versuche mit monochromatischem Licht aber muß die Lichtquelle sehr hell sein; directes Sonnenlicht ist das bequemste; ist es nicht zu haben, so kann man sich des Drummondschen Kalklichts, des electrischen Kohlenlichts, oder eines durch einen galvanischen Strom ins Glühen gebrachten Platindrahts, oder endlich eines brennenden Magnesiumdrahts bedienen. Diese Versuche werden aber sehr umständlich.

Zum Versuche mit directem Sonnenlicht leitet man ein horizontales Lichtbündel ins dunkle Zimmer und bringt inwendig einen engen Spalt an. Soll nun blos einfarbiges Licht gebraucht werden, so setzt man dicht vor oder hinter den Spalt eine gefärbte Glasplatte, oder ein Parallelgefäß mit einer gefärbten Flüssigkeit. Man kann auch ohne den Heliostat fertig werden; man läßt die Sonne auf einen Convex- oder auf einen Cylinderspiegel scheinen; im ersten Falle erhält man einen hellen Lichtpunkt, im letzten eine Lichtlinie. Einen hiezu ausreichenden Convexspiegel bekommt man, wenn man ein sphärisch geformtes Uhrglas inwendig mit einem schwarzen Stoff überkleidet, z. B. geschmolzenes Pech, Asphalt oder schwarzes Siegellack eingießt; einen Cylinderspiegel macht man eben so aus einer geraden Glasröhre. Im Uebrigen verfährt man gerade so, wie mit dem Strahl vom Heliostat.

In (Fig. 397) stellt SA das Lichtbündel, das vom Heliostat kommt, BC die Fensterlade oder Heliostatplatte vor, DE ein farbiges Glas oder das Parallelgefäß mit gefärbter Flüssigkeit, FG die Spaltplatte, OM und ON sind die Interferenzspiegel, P ist ein Punkt der verticalen Lichtlinie, da die ganze Zeichnung die Zusammenstellung der Apparate im Grundriß darstellt. Für die Versuche mit den schwarzen Spiegeln (Uhrglas oder Glasröhre) bedeutet P den leuchtenden Punkt im Convexspiegel, oder einen Punkt der Lichtlinie in dem Cylinderspiegel; natürlich kommt dann das farbige Mittel DE auf die andere Seite von P, und die Spaltplatte bleibt ganz fort. In einer Entfernung von 5 bis 6 m von P stellt man die Interferenzspiegel MON so auf, daß die gemeinschaftliche Kante O parallel mit der Kante in FG, also vertical steht und das von P auf die Spiegel fallende Licht mit den Spiegelebenen sehr kleine Winkel macht. In der Zeichnung ist die Entfernung von P bis O zu klein und die Neigungswinkel der Lichtstrahlen gegen die Spiegelebenen sind zu groß gemacht, weil die Figur bei richtigen Verhältnissen zu groß geworden wäre. Man hat sich die spiegelnden Vorderflächen der Spiegel resp. bis K und L verlängert gedacht, von P die Lothe PK, PL gefällt und über K und L hinaus um sich selbst bis O und R verlängert; O und R sind dann die Bilder des Punktes P in beiden Spiegeln. Zieht man nun gerade durch R und H, und durch Q und J, so findet man die Gegend, von wo aus die Bilder Q und R zu sehen sind. Errichtet man in der Mitte X von

QR eine Senkrechte XW auf QR, so geht diese allemal durch die Kante O der Spiegel; zieht man dann irgendwo jenseits der Spiegel durch einen Punkt W der aus X errichteten Senkrechten eine Senkrechte UV auf XW, so wird man in einer dadurch gedachten Verticalebene, wenn man nur W nahe an den Spiegeln wählt, schon mit bloßen Augen das Interferenzbild erblicken. Da es aber sehr klein ist, so ist es besser eine Loupe von 5 bis 6maliger Vergrößerung vor's Auge zu nehmen und sie in 20 bis 30$^{cm.}$ von den Spiegeln fest aufzustellen; das Bild zeigt sich dann größer und deutlicher. Noch schöner wird

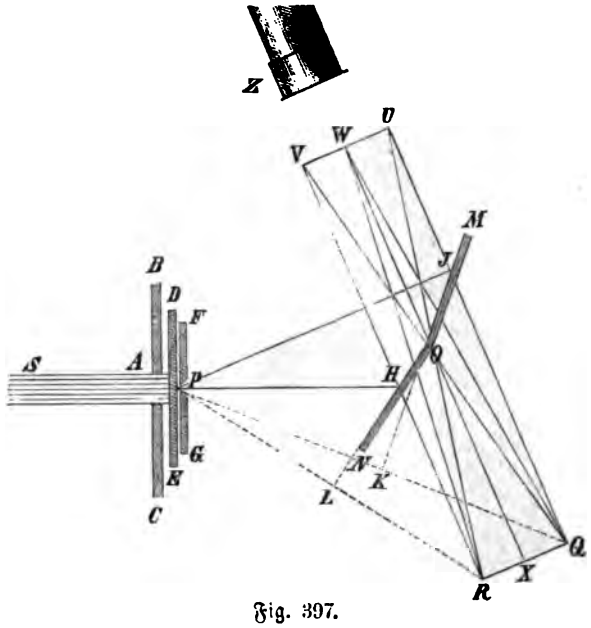


Fig. 397.

dasselbe, wenn man es aus größerer Entfernung durch ein Fernrohr Z betrachtet. Da wir hier einfarbiges Licht vorausgesetzt haben, so erblickt man im Bilde helle und dunkle Streifen. Läßt man das farbige Mittel fort und stellt den Versuch mit weißem, unzerlegtem Lichte an, so erblickt man Streifen in den Farben des Spectrums. In der Mitte ist ein weißer Streifen; die Zahl der Streifen ist aber geringer als im homogenen Lichte.

Wendet man bei directem Sonnenlicht den Heliostat an, so muß der Spalt, durch den das Licht vom Heliostatspiegel in's Zimmer kommt, sehr eng sein, bei künstlichem Licht, namentlich wenn es durch ein zwischengesetztes Mittel einfarbig gemacht wird, muß man den Spalt

weit machen, damit möglichst viel Licht eindringt; es wird aber auch dann das Bild matt erscheinen.

β. Das Interferenzprisma.

Dasselbe Bild, wie durch die Spiegel, erhält man durch das Interferenzprisma von Ohm. Es ist dies ein Glasprisma ABCDEF (Fig. 398) mit einem sehr stumpfen Winkel BCD an der Kante CF. Bei AFE ist es in eine messingene Fassung gekittet, an welche eine Hülse S angelöthet ist; in letztere wird ein Glasstab eingekittet, dieser wird unten in einem geeigneten Fuß befestigt. Indem alle übrigen Vorkehrungen gerade so getroffen werden, wie bei den Spiegeln, stellt

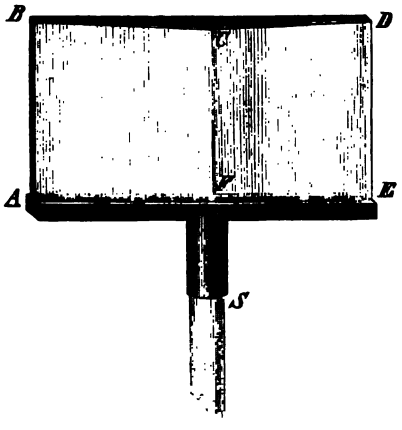


Fig. 398.

man das Prisma so auf, daß die ebene Fläche dem Spalt, d. h. der Lichtquelle zugekehrt wird und dem Spalt parallel steht, auch muß die geometrische Mittellinie des auffallenden Lichtbündels senkrecht auf der dem stumpfen Winkel des Prismas gegenüberliegenden Prismenfläche stehen. Hinter dem Prisma stellt man eine Loupe, oder in größerer Entfernung ein Fernrohr auf und betrachtet die Lichtstrahlen dadurch. Beim Prisma wird man indeß nur homogenes Licht verwenden können, weil die Erscheinung durch die mit der Brechung verbundene Farbenzerstreuung getrübt wird.

An diese Erscheinungen reiht sich der Grimaldi'sche Versuch. Ueber einen aus Holz gedrehten Hohlcylinder von 2 cm Höhe und solcher äußeren Weite, daß er sich in die Oeffnung der Helioſtatplatte einschrauben läßt, befestige man ein Stanniolblatt mit Gummi, so daß es die Oeffnung ganz bedeckt und eine ebene Fläche bildet; in dieses Blatt steche man, etwa 2 cm aus einander, mit einer Nadelspitze zwei ganz

feine Löcher. Läßt man dann, während der so vorbereitete Cylinder in der Platte steckt, vom Heliostatspiegel directes Sonnenlicht auf das Stanniolblatt mit den Löchern fallen, so werden auf einem 5—6 m entfernten weißen Schirm zwei helle Kreise entstehen, die sich zum Theil überdecken. Das durch beide Oeffnungen erleuchtete Segment ist dann heller als der übrige Raum, der nur von einer Oeffnung erleuchtet wird, aber der Rand zeigt sich mit dunkeln Linien besetzt, die mit hellen abwechseln, so daß man hieraus schließen muß, daß, wenn eine erleuchtete Fläche aus einer anderen Quelle noch mehr Licht erhält, dieselbe zwar an gewissen Stellen heller, an anderen aber dunkler werden kann. Man wird, nach den theoretischen Erörterungen der Lehrbücher, sich überzeugen, daß man es hier mit Interferenzstreifen zu thun hat.

21. Beugung des Lichts.

a. Durch ein divergirendes Lichtbündel.

Mittelst des Heliostats leite man ein horizontales Lichtbündel in das sonst verfinsterte Zimmer, setze in die Oeffnung der Heliostatplatte eine Linse von kurzer Brennweite, deren Fassung gerade in die Oeffnung paßt. Ist solche nicht zur Hand, so setze man in die Heliostatplatte einen Ring, der aus Holz bestehen kann, in welchen man eine Oeffnung gedreht hat, die zur Fassung der Linse paßt. So entfernt als das Zimmer es gestattet, stelle man einen Schirm auf, der den erleuchteten Kreis auffängt. In den divergirenden Strahlenkegel stelle man nun auf einem Stativ einen dünnen undurchsichtigen Körper, einen Draht, ein Haar oder dgl., so wirft dieser auf den Schirm einen Schatten von größerer Breite, als er bei geradliniger Verbreitung des Lichtes sein würde.

b. Durch zwei Spalten.

Ein anderer Versuch wird mit zwei in größerer Entfernung von einander aufgestellten Spalten angestellt; auf die erste fällt das Licht vom Heliostat (ohne Linse), die zweite läßt einen Theil dieses Lichtes hindurch; auf einem weißen Schirm aufgefangen zeigt dasselbe einen viel breiteren hellen Raum als es bei geradliniger Verbreitung des Lichtes der Fall wäre; das durchgegangene Licht verbreitet sich auch in den Schattenraum, welchen die Spaltplatte hinter sich auf dem Schirm abgrenzen müßte, uud zu beiden Seiten dieses Raumes zeigen sich im homogenen Lichte helle und dunkle, im weißen farbige Streifen.

Sehr schön sieht man diese Streifen, wenn man die zweite Spalte auf einem Ring aus Holz oder Messing anbringt, welcher sich über das Objectivende eines achromatischen Fernrohrs aufschieben läßt; die Vergrößerung des Fernrohrs braucht höchstens eine 10 bis 15malige zu sein.

Dieselbe Erscheinung erhält man, zwar nur einseitig, wenn man eine geradlinig begrenzte Platte mit abgeschrägter Kante in das Lichtbündel stellt und in einiger Entfernung auf einem Schirm auffängt.

c. Durch enge Oeffnungen. α. Gitterspectra.

Weitere Apparate zu Beugungsversuchen bieten ausgespannte Stanniolblätter, in welche eine oder mehrere feine Oeffnungen geschnitten sind. Die Blätter werden auf Glas geklebt, dieses in aus Holz gedrehte und schwarz lackirte Ringe, die nach Hinten mit einem cylinderischen Ansatze versehen sind, eingesetzt; der Ansatz wird in einen mit Stiel versehenen Messingring gesteckt (Fig. 399) und auf eine Hülse der Prismenstange gestellt. Blättchen mit verschiednen Oeffnungen stellt die (Fig. 400) unter a, b, c, d vor. Für jedes Blättchen muß eine

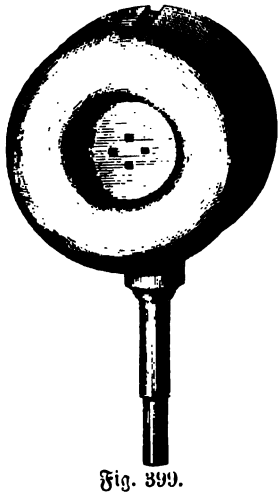


Fig. 399.

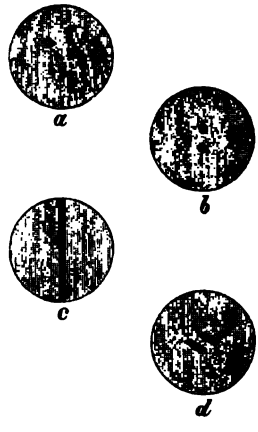


Fig. 400.

Holzform vorhanden sein, in die es bleibend befestigt wird. Der Messingring paßt gleichmäßig für alle. Am besten erhält man die Erscheinungen, wenn man das Stanniolblatt mit seiner Fassung auf das Objectivende des Fernrohrs aufsetzt.

Die Beugungsbilder, welche man durch zwei und mehr Oeffnungen erhält, heißen nach Fraunhofer Gitterspectra. Solche erhält man durch zwei dicht neben einander befindliche Spalten. Man kann diese sehr schön darstellen, wenn man über eine schmale, in Stanniol geschnittene rechteckige Oeffnung (Spalte) einen Platindraht von der feinsten Nummer parallel mit den längeren Seiten und so legt, daß er die Oeffnung in zwei gleich breite Spalten theilt. Der Draht kann an seinen Enden mit Gummi, Klebwachs oder Siegellack befestigt werden.

Stabgitter bekommt man, wenn über eine breitere rechteckige Oeffnung mehrere dünne Drähte in gleichen Abständen befestigt werden.

Es ist aber sehr schwer, vollständige Regelmäßigkeit zu erzielen, jedenfalls wird man hier zur Grundlage nicht ein Stanniolblatt, sondern eine Messingplatte mit zugeschärften Seitenrändern der Oeffnung nehmen und die Stellen für die Drähte genau bezeichnen. Als Lichtlinie dient entweder ein Spalt, der Licht durch den Heliostatspiegel erhält, oder eine inwendig geschwärzte Glasröhre, welche von der Sonne beschienen wird. Die Erscheinungen sind freilich auch bei einem bloßen Lichtpunkte zu beobachten. Die Beobachtung geschieht mit freiem Auge oder mit dem Fernrohr.

Viel feiner und regelmäßiger erhält man solche Gitter durch Glasplatten, in welche mit Diamant auf der Theilmaschine feine und parallele Linien eingeritzt werden; die geritzten Linien (Furchen) bilden, da hier die Politur entfernt worden, die undurchsichtigen Stäbe, während die unverfehrten Glasstreifen die Oeffnungen des Gitters abgeben. Fraunhofer zog auf dem Raume einer Par. Linie gegen 700 feine Diamantstriche. Nobert hat deren auf demselben Raume bis zu 1000 gezogen.

Weniger feine Gitter erhält man nach Fraunhofer, wenn man auf zwei entgegengesetzten Seiten einer rechteckigen Oeffnung in einer Metallplatte die Gänge einer feinen Schraube einschneidet und zwischen diesen Schraubengängen feine Metalldrähte ausspannt.

Radirte Gitter werden auch verfertigt, indem man ein Planglas auf einer Seite mit Goldblatt oder mit schwarzer Oelfarbe oder Asphaltlack überzieht und mit einer Stahlnadel auf der Theilmaschine parallele Linien in diese Belegung zieht, so daß die Platte an diesen Stellen wieder durchsichtig wird.

Gekreuzte Gitter erhält man, wenn man zwei Stabgitter rechtwinklig über einander legt und in dieser Lage an einander befestigt; ein feines Drahtnetz, Gaze von verschiedener Feinheit des Gewebes liefern gekreuzte Gitter, die auf einen leuchtenden Punkt angewendet, sehr schöne Beugungsbilder geben.

Die nach Schwerd construirten Beugungsapparate liefert jeder Mechaniker fertig. Die Erscheinungen sind prachtvoll, wir müssen es uns aber versagen, Darstellungen davon zu geben; man findet sie in allen größeren Lehrbüchern verzeichnet. Wer die kleinen Apparate sich verschafft hat, wird sie leicht hervorbringen und dann die Bilder mit Wohlgefallen betrachten.

d. Im reflectirten Lichte.

Wenn man auf ein gut polirtes Stahlplättchen, oder auf ein mit Goldblatt belegtes Planglas ein feines Gitter radirt, dann Sonnenlicht auf die eng gezogenen Linien fallen läßt und das von den Gittern reflectirte Licht durch ein Fernrohr betrachtet, so wird man ebenfalls schöne Beugungsspectra wahrnehmen.

22. Farben dünner Körper.

Farben dünner Körper (Newton'sche Farbenringe) erhält man im Perlmutter, dünnen Krystallblättchen (Glimmer, Gyps, Kalkspath u. a.), an alten verwitterten Fensterscheiben und an Seifenblasen, letztere sehr schön, wenn man gewöhnliche Hausseife in Wasser löst, einige Stunden stehen läßt und dann filtrirt: mit einem Glasröhrchen, das man in die Flüssigkeit steckt, bläst man hinein und hebt das Röhrchen heraus; sobald sich eine Blase gebildet hat, bläst man noch vorsichtig weiter, die Blase erweitert sich noch etwas; nun hält man die Oeffnung des Röhrchens mit dem Finger zu und überläßt die Blase sich selbst; da die Flüssigkeit der Blasenwand nach Unten fließt, so verdünnt sich

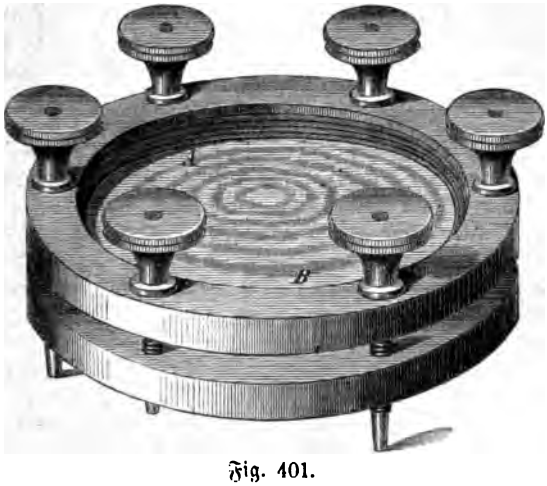


Fig. 401.

die Wandung noch weiter und die Farbenringe kommen deutlich zur Wahrnehmung. Ein weiteres Mittel, diese Ringe zu erzeugen, bieten dünne Glaskugeln: man bläst an eine Glasröhre eine Kugel, wie wenn man ein Thermometer machen wollte, nimmt aber eine etwas weitere Röhre dazu. Hat man bereits eine Kugel geblasen, so erhitzt man sie noch einmal und bläst stark hinein; die Kugel wird sich stark ausdehnen und platzen; die davon springenden Blättchen sind außerordentlich dünn und zeigen die schönsten Farben.

Um indeß die Erscheinung auf regelmäßige Weise zu erzeugen bedient man sich einer Convexlinse AB (Fig. 401) von großer Brennweite, die man auf ein Planglas legt, statt dessen man auch eine Concavlinse von noch etwas größerer Brennweite als die der Convexlinse ist, nehmen kann. Die so auf einander gelegten Gläser werden auf zwei starke Messingringe gelegt und durch sechs Schrauben, die durch die Ringe geführt

werden, an einander gepreßt. Durch stärkeres Anziehen der Schrauben nehmen die Durchmesser der Ringe zu. (Fig. 402) stellt den Apparat im Durchschnitt dar, AB die Convexlinse, CD das Planglas; der Zwischenraum kann, wegen der geringen Krümmung der Linse, hier nur durch die gerade Linie mn dargestellt werden.

Man kann die Ringe einmal im zurückgeworfenen, dann auch im durchgehenden Lichte betrachten. Im ersteren Falle werden die Ringe deutlicher, wenn man unter die untere Scheibe schwarzes Papier oder Tuch legt, während das Licht von Oben einfällt und das Auge etwas seitwärts von Oben darauf sieht. Um die Ringe im durchgehenden Licht zu sehen, hält man die Gläser gegen das Fenster oder gegen eine

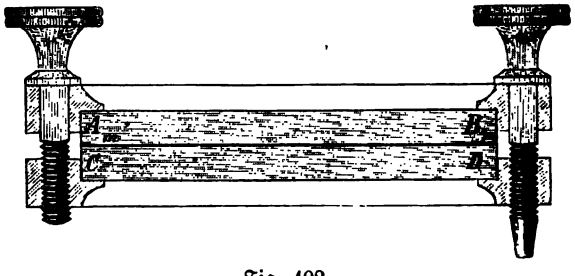


Fig. 402.

Lichtquelle und sieht von Hinten hinein. Um sie in einfarbigem Lichte zu sehen, werden die Gläser durch farbige Gläser beleuchtet; die Ringe erscheinen dann abwechselnd in dieser Farbe und dunkel.

23. Doppelte Brechung.

Es wird zweckmäßig sein, sich ein Modell der Grund- oder Kerngestalt des Kalkspaths zu verschaffen; es muß aus hartem Holz gefertigt und nach der Ebene des Hauptschnitts durchgeschnitten sein; die beiden Hälften müssen sich dadurch, daß man die eine mit zwei Messingstiften, die andere mit den entsprechenden Löchern versieht, wieder zusammenbringen lassen. Die Hauptachse wird auf der Schnittfigur deutlich gezeichnet. (Fig. 403) giebt die Form des Kalkspathrhomboeders, ADFG ist der Hauptschnitt, AF die Hauptachse, jede mit AF parallele Gerade heißt eine optische Achse; die Ecken A und F werden von je drei gleichen stumpfen Kantenwinkeln von $10^0\ 55'$ gebildet, alle anderen Ecken von je zwei spitzen und einem stumpfen Winkel.

Zu den in den Lehrbüchern angegebenen Versuchen bedient man sich, nachdem an dem Modell die Krystallform, Achse, Hauptschnitt ꝛc. erklärt sind, eines wirklichen Kalkspathkrystalls, der gerade nicht die Kerngestalt zu haben braucht, aber doch nach den Spaltungsrichtungen genau eben geschliffen sein muß; besonders kommt es darauf an, daß die Masse durchweg klar und durchsichtig sei, im Inneren keine Risse

habe. Noch beſſer iſt es zwei ſolche Exemplare zu haben. Leitet man ein dünnes Lichtbündel ſenkrecht auf die eine Fläche eines ſolchen Kryſtalls, ſo ſpaltet es ſich in zwei Strahlen, die einen kleinen Winkel mit einander machen. Sieht man durch das Rhomboeder nach einem hellen Punkt, oder nach einem dünnen Gegenſtand, etwa einem ausgeſpannten Faden, ſo erblickt man zwei Bilder; legt man den Körper auf ein weißes Papier, auf welchem ein ſchwarzer Punkt gezeichnet iſt, ſo ſieht man zwei Bilder u. ſ. w. Wenn man ſich in dem Einfallspunkte die Hauptachſe des Kryſtalls und den Hauptſchnitt hinzudenkt, ſo wird man ſtets die Lage des ordentlichen und die des außerordentlichen Strahls gegen dieſe und die Einfallsebene leicht zu beſtimmen vermögen; hiezu trägt namentlich der Verſuch, wobei der Kryſtall über dem Punkt, oder über einer geraden Linie im Kreiſe herum gedreht wird, viel bei. Da man nicht immer Sonnenlicht haben kann, um den erſten der oben erwähnten Verſuche zu machen, ſo muß man ſich oft mit künſtlichem Licht behelfen. Sehr bequem wird der Verſuch, wenn man ſich aus Kartenpapier ein Käſtchen macht, wovon die eine Seite offen bleibt, in die dieſer gegenüberliegende Seite ein kleines Loch ſticht, dann den eingeſetzten Kryſtall gegen das helle Fenſter hält und durch die freie Seite hindurchſieht.

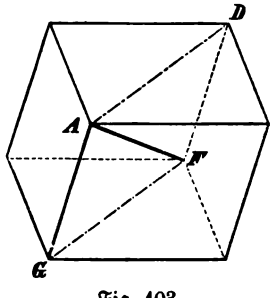


Fig. 403.

Um die ferneren in den Lehrbüchern aufgeſtellten Geſetze der doppelten Brechung durch den Verſuch beſtätigt zu ſehen, wird man noch einen Kryſtall, der zwei gegen die Achſe ſenkrecht geſchliffene Flächen hat, haben müſſen. Ebenſo wird es zweckmäßig ſein, einen Kryſtall parallel mit der optiſchen Achſe ſchleifen zu laſſen, um Strahlen, die ſenkrecht gegen die Achſe einfallen, darin verfolgen zu können.

Der Kalkſpath wird immer die Erſcheinungen am leichteſten zeigen, weil der Unterſchied der Brechung des gewöhnlichen und ungewöhnlichen Strahls bei dieſem Mineral am größten iſt, beide Strahlen alſo am weiteſten aus einander fallen. Sehr intereſſante Verſuche laſſen ſich auch mit Kalkſpathprismen anſtellen. Davon geben die Lehrbücher weitere Belehrung. Nur Eins iſt hier noch anzuführen, nämlich das Nicol'ſche Prisma. Ein Kalkſpathrhomboeder wird ſo geſchliffen, daß zwei gegenüberſtehende Endflächen zwar immer auf dem Hauptſchnitt ſenkrecht ſtehen, aber mit der Längskante am ſtumpfen Flächenwinkel nur Winkel von 68° bilden, während dieſe Winkel im natürlichen Kryſtall 71° betragen. Dann ſägt man den Kryſtall mit einer feinen Laubſäge in einer Ebene, die ſowohl auf den ſo veränderten Endflächen, wie auch auf dem Hauptſchnitt ſenkrecht ſteht, in zwei dreiſeitige Prismen. In (Fig. 404) ſind abcd, a'b'c'd' die Schnittflächen. Die Trennungsflächen werden ſorgfältig geſchliffen und polirt, dann mittelſt Canadabalſam wieder

zusammengekittet; das fertige Prisma wird in Kork gefaßt und dieser in einer Messingröhre befestigt, (Fig. 405) so daß das Licht durch die eine der geschliffenen Endflächen eintreten, durch die andere austreten kann. Nun ist beim Kalkspath das Brechungsverhältniß des gewöhnlichen Strahls größer als das des ungewöhnlichen; ist daher Sa (Fig. 406) ein im Hauptschnitt ABCD einfallender Strahl, so wird der ungewöhnlich gebrochene ab nur wenig von der Richtung ad abweichen, durch die Balsamschicht hindurch gehen und bei d parallel mit Sa in die Luft übertreten. Der gewöhnliche Strahl ac wird stärker abgelenkt, tritt unter sehr spitzem Winkel auf die Balsamschicht und erleidet totale Reflexion, weil der Balsam schwächer bricht als der Kalkspath den gewöhnlichen Strahl zu brechen vermag; der gewöhnliche Strahl wird daher seitwärts abgelenkt; um ihn ganz unschädlich zu machen, werden die Seitenflächen des Krystalls im Korke mit einem schwarzen Pigment überzogen. Der Beobachter erhält also nur den ungewöhnlichen Strahl.

Der Kalkspath ist bekanntlich ein einachsiger negativer Krystall, der Bergkrystall ein positiver, indem jener den ungewöhnlichen Strahl von der optischen Achse entfernt, dieser ihn derselben nähert; bei jenem hat der ungewöhnliche Strahl ein kleineres Brechungsverhältniß als der gewöhnliche, bei diesem ist es umgekehrt. Wie kann man nun aber erkennen, ob ein doppeltbrechender Krystall zu der einen oder anderen Classe gehöre? dazu führt folgendes von Rochon angegebenes Verfahren.

Es seien P,Q (Fig. 407) zwei Kalkspathprismen, in der Fläche MN durch Canadabalsam innig mit einander verbunden. In P sei MR die Richtung der Achse, in Q stehe die Achse senkrecht zu MR. Nun falle ein Strahl SA senkrecht auf die gegen die Achse senkrechte Fläche RN; er wird ungebrochen durchgehen und auch nicht in zwei Strahlen gespalten werden, weil er der optischen Achse parallel ist. In B an der Trennungsfläche der beiden Strahlen angelangt, wird der Strahl sich in zwei Bündel spalten; das gewöhnliche BC setzt seine Richtung unverändert fort und tritt bei C ungebrochen in die Luft über; das ungewöhnliche BC' dagegen entfernt sich weiter vom Einfallsloth und wird also bei seinem Uebertritt in die Luft noch weiter nach der spitzen Ecke M des Prismas MNT gebrochen. (Fig. 408) sei ein ebenso vorbereitetes Doppelprisma, mit dem Unterschied jedoch, daß seine beiden Theile aus Bergkrystall, einem positiven Körper, bestehen. Ist dann SA wieder ein senkrecht auf die Fläche RN auffallender Strahl, so geht er ungebrochen nnd ungetheilt durch das erste Prisma hindurch, bis zur Trennungsfläche MN beider Flächen. Da in den positiven Krystallen der gewöhnliche Strahl weniger gebrochen wird als der ungewöhnliche, so fällt letzterer näher an das Einfallsloth und entfernt sich bei seinem Uebertritt in die Luft noch weiter von der spitzen Ecke des Prismas. Ein Auge in O (Fig. 407 u. 408) wird von dem Strahl SA nur den gewöhnlich gebrochenen Theil bekommen; der ungewöhnlich gebrochene geht in Fig. 407 nach Links, in (Fig. 408) nach Rechts hin; dasselbe Auge in O wird aber in (Fig. 407) den ungewöhnlich gebrochenen Theil DFO eines nach Rechts hin einfallenden Strahls S'D erhalten, in

(Fig. 408) den ungewöhnlich gebrochenen Theil eines nach Links hin einfallenden Strahls S'A'. Beim Durchsehen durch das Doppelprisma wird man nun leicht bemerken, welcher von beiden Strahlen der gewöhnliche sei, weil, wegen der parallelen Flächen RN und MT, dieser das Bild des gesehenen Gegenstandes an derselben Stelle zeigt, wo der Gegenstand selber sich befindet; der Strahl welcher das Bild verschiebt, ist also der ungewöhnliche. Zeigt sich das so verschobene Bild nach der Basis des Prismas gerückt, so ist der Krystall ein negativer, fällt die Verschiebung nach der Kante des Prismas hin, so ist der Krystall ein positiver.

Ein eben solches Doppelprisma hat Rochon zu seinem Mikrometer angewendet, welches dazu dient, aus der bekannten Entfernung eines

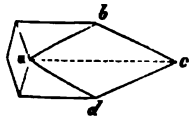


Fig. 404.

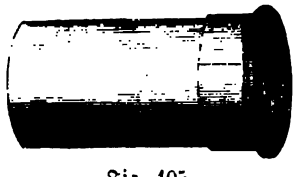


Fig. 405.

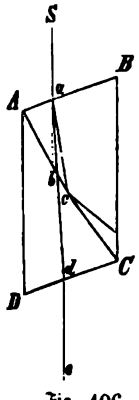


Fig. 406.

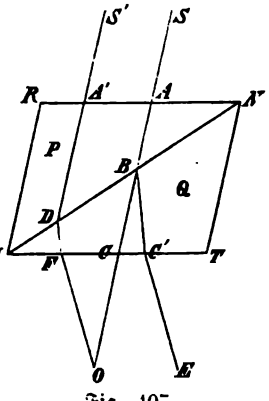


Fig. 407.

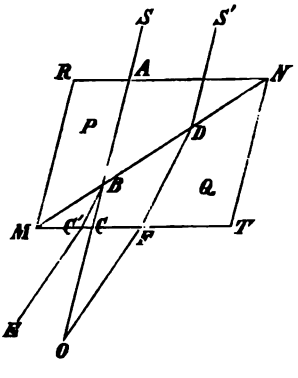


Fig. 408.

Gegenstandes seine Größe, und aus der bekannten Größe seine Entfernung zu finden. Es bringt nämlich das oben beschriebene Doppelprisma, wozu er Bergkrystall verwendete, in ein Fernrohr zwischen das Objectiv und dessen Brennpunkt, so daß eine der parallelen Seitenflächen senkrecht zur Achse des Fernrohrs steht. Im Brennpunkt des Objectivs werden nun zwei Bilder des in weiter Entfernung vor dem Fernrohr befindlichen Gegenstandes entstehen, eines durch den gewöhnlichen und eines durch den ungewöhnlichen Strahl. Da der Winkel, welchen die gewöhnlichen und die ungewöhnlichen Strahlen mit einander machen, sich stets gleich bleibt, in welchen Abstand von der Objectivlinse man

das Doppelprisma bringen mag, so wird sich das ungewöhnliche Bild vom gewöhnlichen entfernen, wenn man das Prisma der Linse nähert (von ihrem Brennpunkte entfernt), und umgekehrt wird sich das ungewöhnliche Bild dem gewöhnlichen nähern, wenn das Prisma dem Brennpunkte des Objectivs genähert wird, weil im Brennpunkte im ersten Falle eine größere, im letzten eine kleinere Oeffnung desselben Winkels entsteht. Der Prismenapparat läßt sich daher auch so einstellen, daß die beiden Bilder einander gerade berühren. Betrachtet man sie dann durch das Ocular des Fernrohrs, so werden sie auch bei der dadurch bewirkten Vergrößerung noch dieselbe Lage haben, d. h. einander berühren. Ist a (Fig. 409) die Objectivlinse, MN die verticale Ebene, in welche ihr Brennpunkt fällt, und grenzen die beiden Bilder mn und nn' in n an einander, so ist $\frac{mn}{mc} = tg\,mcn$ und $\frac{mn}{ma} = tg\,q$; mc ist der Abstand des Prismas vom Brennpunkt, ma die Brennweite der Linse; wird erstere durch e, letztere durch f bezeichnet, so ist $tg\,mcn = \frac{mn}{e}$, $tg\,q = \frac{mn}{f}$, also $tg\,q = \frac{e}{f}.tg\,mcn$. Hiebei ist q der Gesichtswinkel des Objects mit bloßen Augen, und da der Winkel immer derselbe bleibt, so wird man ihn von Vorn herein bestimmen. Aus dem Abstand des Prismas, der Brennweite des Objectivs und dem bekannten Winkel mcn läßt sich also der Gesichtswinkel q bestimmen. Für jede Beobachtung kann man das Prisma durch eine außen am Fernrohr angebrachte Vorrichtung so verschieben, daß die Bilder gerade in Berührung kommen, eine Scale giebt dann die Länge der Linie mc an. Durch einen Versuch, wobei ein Gegenstand von bekanntem Durchmesser zu Grunde gelegt wird, bestimmt man das Verhältniß des Abstandes mc zum scheinbaren Durchmesser q des Objects, wenn beide Bilder dieses letzteren in Berührung gebracht sind, und kann also künftig aus der ersten Größe, die abgelesen wird, die letzte berechnen. Um aber dieser Rechnung überhoben zu sein, ist für jedes Object, je nach der Lage, den die Prismen erhalten müssen, um die Bilder zur Berührung zu bringen, der Gesichtswinkel, so wie die Zahl angegeben, welche das Verhältniß zwischen dem Durchmesser des Objects und seiner Entfernung ausdrückt.

Fig. 409.

24. Polarisation.

a. Polarisationsinstrumente.

Polarisationserscheinungen kann man unter Umständen durch sehr einfache Mittel hervorbringen. Wenn Tageslicht schief (nahezu unter 35° gegen die Fläche) auf einen polirten Tisch auffällt, so ist das reflectirte Licht polarisirt; fängt man es unter demselben Winkel durch eine andere polirte Fläche, einen schwarzen Spiegel auf, und giebt diesem

nach einander die vier bekannten Hauptlagen, so bemerkt man, daß das Licht während einer vollen Umdrehung zwei Maxima und zwei Minima der Intensität annimmt. Um aber die weiteren Versuche mit größerer Bequemlichkeit anstellen zu können, wird man sich ein Polarisationsinstrument anschaffen. Das einfachste und billigste dürfte das in meinem Lehrbuch beschriebene sein, auch lassen sich damit die meisten Versuche recht wohl anstellen. Man hat bekanntlich dreierlei Mittel zur Polarisation: die Reflexion, einfache Brechung und doppelte Brechung. Zur Reflexion dient ein schwarzer Spiegel, zur einfachen Brechung ein System auf einander geschichteter paralleler Glasplatten, zur doppelten Brechung ein

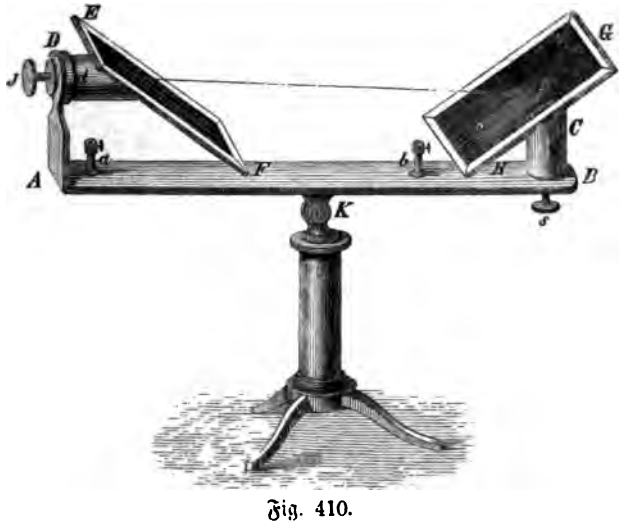


Fig. 410.

Nicol'sches Prisma. Da aber dieselben Körper auch dazu dienen, das polarisirte Licht auf seinen Polarisationszustand zu prüfen, so muß man von jedem zwei Exemplare haben. Der Apparat, den wir in (Fig. 410) hier reproduciren, gestattet es diese verschiedenen Polarisationsmittel darauf anzubringen. Der obere Theil läßt sich im Fuß in der Horizontalebene, vermittelst des Scheibencharniers K in der Verticalebene beliebig drehen. AB ist ein 50$^{cm.}$ langes, 5$^{cm.}$ breites Brett, welches die geschwärzten Spiegel EF und GH trägt; GH ist an dem Ständer C fest, dieser selbst wird aber durch die Schraube s an dem Brette festgehalten und kann, wenn man einen anderen polarisirenden Körper anbringen will, entfernt werden. Bei A trägt das Brett die fest damit verbundene Seitenwand AD; an einem runden Stabe, dessen Zapfen sich durch ein Loch in AD durchstecken läßt, ist der Spiegel EF unter dem Polarisationswinkel unveränderlich befestigt; AD ist an der oberen Fläche abgerundet und trägt in der Mitte der Wölbung einen Strich als Index

für die Theilung, welche auf dem kreisförmigen, mit dem Zapfen fest verbundenen Stück d die Quadranten angiebt; die Schraube J nebst einer Druckfeder hält den Spiegel in fester Verbindung mit dem Seitenbrett AD, gestattet jedoch eine Drehung um die Mittellinie JP, so daß der Spiegel, wenn er um ein oder zwei Quadranten gedreht wird, doch stets denselben Winkel von 35° 25′ mit der Achse JP macht. Vor der Beobachtung wird das Brett AB so im Charnier K gedreht, daß der Spiegel GH ungefähr horizontal zu stehen kommt. Läßt man dann helles Tageslicht, am besten Licht vom weiß bewölkten Himmel, auf den Spiegel GH fallen, so wird man im Spiegel EF, wenn man ihn nach und nach in die vier Hauptlagen bringt, die Ab- und Zunahme der Intensität bemerken können.

Der kleine Ständer b dient dazu, wenn man durch einfache oder

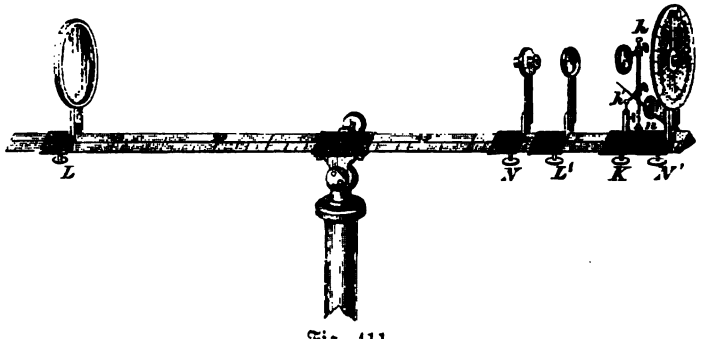


Fig. 411.

doppelte Brechung polarisiren will, das Glasplattensystem oder einen Nicol anzubringen. Der Spiegel GH wird in diesem Falle entfernt.

Die Glasplatten sind unter dem Polarisationswinkel in ein Messingrohr gefaßt, das einen Stiel trägt, mit dem es in den Ständer b gesteckt und festgeschraubt werden kann. Der Mantel des Cylinders muß aber an der dem einfallenden Lichte zugekehrten Seite auf der oberen Hälfte eine Strecke weit weggeschnitten sein. Das Rohr des Nicols wird, wenn dieser als polarisirendes Mittel gebraucht werden soll, in eine mit einem Stiel versehene Messinghülse gesteckt und eben so in b befestigt.

Der obere Spiegel kann auch entfernt und durch ein Plattensystem oder einen Nicol ersetzt werden. Beide werden in passenden Hülsen durch die Oeffnung im Brette AD gesteckt, die sonst von dem Zapfen am Träger des Spiegels EF eingenommen wurde. Bei diesen Versuchen, wo der Spiegel GH durch ein einfach oder doppelt brechendes Mittel ersetzt wird, erhält das Brett AB eine Lage, daß das Tageslicht in den polarisirenden Körper dringen kann, also etwa die Richtung von AB in unserer Figur. Durch die beschriebene Einrichtung kann man das Licht durch die drei verschiedenen Mittel polarisiren, und jedesmal durch alle drei nach einander analysiren, was neun Versuche giebt.

Statt des Tageslichts kann man auch das Licht einer monochromatischen Lampe, d. h. eine Spirituslampe, deren Docht mit Kochsalz eingerieben ist, benutzen.

Der kleine Ständer a des Polarisationsinstruments dient dazu, krystallisirte Körper aufzustellen, durch welche man polarisirtes Licht gehen lassen will; nach dem Durchgange wird das Licht durch das Plattensystem oder einen Nicol geprüft; der Spiegel EF freilich läßt sich dazu nicht verwenden.

Ein zweites Polarisationsinstrument bietet die schon oft erwähnte Prismenstange dar. Mit Ausnahme der Krystalle werden die dabei zu verwendenden Apparate auf die bekannten Hülsen gesteckt, diese auf die Stange aufgeschoben und durch die Schraube an der gehörigen Stelle befestigt. Das Ganze ist durch (Fig. 411) dargestellt. L ist eine Sammel-

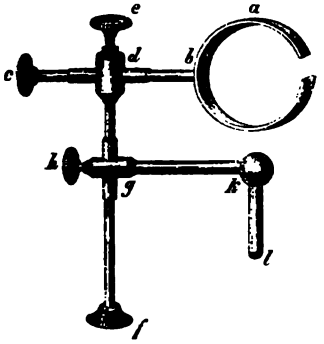


Fig. 412.

Fig. 413.

linse von 35 cm. Brennweite, N der polarisirende Nicol im Brennpunkte der Linse L, N' der analysirende Nicol im Centrum eines getheilten Verticalkreises mit Zeiger, L' eine Sammellinse von 5 cm Brennweite.

Für die Aufstellung der Krystalle hat man einen Halter, der besonders geeignet ist, sie in jede denkbare Lage zur Gesichtslinie zu bringen. Der Ring a (Fig. 412) von schwarz gebeiztem Messing ist nicht ganz geschlossen und federt etwas; er hat 3 cm Durchmesser, 6 mm Breite und steckt an einem Stäbchen bc von 5 cm Länge, das am Ende ein geändertes Knöpfchen c trägt; es ist in der Hülse d verschiebbar, kann aber durch die Schraube e festgestellt werden; d sitzt an dem 9 cm langen Stäbchen df, mit dem Knöpfchen f am Ende. Ueber df ist wieder die Hülse verschiebbar, welche durch die Schraube h zu befestigen ist. Die Hülse g sitzt am Stabe gk, welcher bei k eine kleine Kugel trägt, in welcher der Stift kl befestigt ist; mit diesem Stift kl wird das Instrument auf einer Hülse der Prismenstange aufgesteckt, wie hh' (Fig. 411).

Die Krystalle werden, wie (Fig. 413) zeigt, zwischen zwei Glasplatten in ein Holzfutter gefaßt, dessen Ansatz in den Ring a von (Fig. 412) paßt. Wie der so gefaßte Krystall mittelst dieser Einrichtung

in jede beliebige Lage auf der Prismenstange gebracht werden kann, sieht man sogleich ein. An die Glasplatten kittet man die Krystalle mit ihren parallel geschliffenen Flächen mittelst Kanadabalsam, die Glasplatten mit Klebwachs ins Holzfutter. In (Fig. 413) bedeutet k den Krystall, f die Holzfassung, z den Zapfen daran, womit diese in den Ring gesteckt wird.

Der beschriebene Halter kann natürlich noch in vielen anderen Fällen gebraucht werden, wo es darauf ankommt, einem darin gefaßten Gegenstande alle möglichen Neigungen gegen die Sehachse zu geben. Manche Krystalle müssen, je nach der Lage der optischen Achsen, mehr oder weniger schief gegen die Gesichtslinie gestellt werden, um die durch das polarisirte Licht erzeugten Farbenspectra sichtbar zu machen, und es giebt wohl kein anderes Mittel, womit alle diese Stellungen mit derselben Leichtigkeit zu erreichen wären; in Verbindung mit der Prismenstange ist es daher einer der wichtigsten Hülfsapparate der Optik.

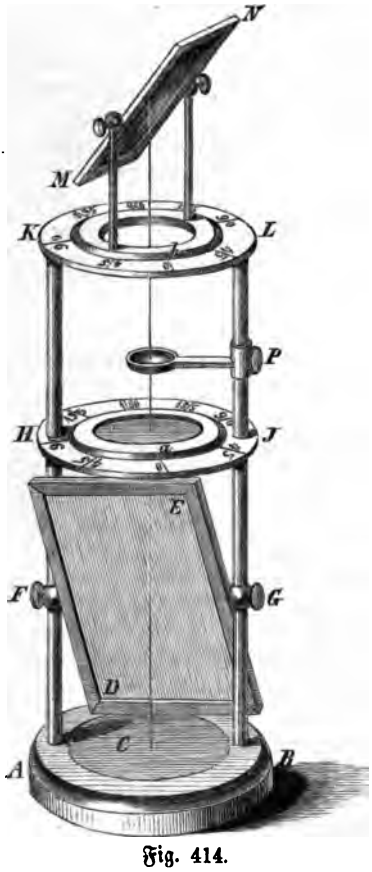


Fig. 414.

Als krystallisirte Körper mit doppelter Brechung dienen auch Glimmerblättchen, die sehr dünn gespalten sind. Diese werden auf besondere Messingringe befestigt, mit einem Arm versehen, der drehbar an dem auf die Hülse gesteckten Ständer angebracht ist, wie n (Fig 411), wo das Glimmerblatt seitwärts geschoben ist. Gypsblättchen werden ebenso angebracht.

Als dicke Platten mit einer optischen Achse die senkrecht gegen die Achse geschliffen werden, dienen besonders: Kalkspath, Bergkrystall, Tumalin, Saphir, Rubin, Smaragd u. a. m.; doppelachsige werden senkrecht gegen die Halbirungslinie des Achsenwinkels geschliffen; die gewöhnlichsten sind: Arragonit, Salpeter, Gyps, Feldspath ꝛc.

Die erwähnten Glimmerblättchen dienen besonders dazu, die elliptische und circuläre Polarisation darzustellen. Man stelle die beiden Nicols gekreuzt, d. h. so auf, daß ihre Hauptschnitte auf einander senkrecht stehen, setze dann zwischen den analysirenden Nicol und den Krystall ein doppelachsiges Glimmerblättchen

so, daß seine Achsen die rechten Winkel jener Hauptschnitte halbiren; es lösen sich dann die vier Arme des durch die bloßen Nicols erzeugten schwarzen Kreuzes in zwei Bogenlinien oder Punkte auf; daran erkennt man auch die richtige Stellung des Glimmerblättchens am leichtesten. Das Licht ist dann elliptisch polarisirt.

Setzt man ein zweites Glimmerblättchen so hinter den polarisirenden Nicol, d. h. nach der Seite des Beobachters hin, daß seine Achsen auf denen des ersten senkrecht stehen, so vereinigen sich die Bogen oder Punkte zu einem einzigen schwarzen Punkt; das Licht ist circulär polarisirt.

Ein anderer, viel gebrauchter Polarisationsapparat ist der Nörremberg'sche, der durch (Fig. 414) dargestellt wird. Auf dem Fuß AB ruhen zwei verticale Stäbe, an denen die verschiedenen Apparate angebracht sind. C ist ein horizontaler, auf der Rückseite belegter Spiegel, DE eine um die Achse FG drehbare Spiegelglasscheibe, HJ ist ein getheilter Ring, in dem sich ein zweiter drehen läßt; man legt eine klare Glasplatte darauf und auf diese die krystallisirten Körper; am inneren Kreis ist a der Index für die Theilung. KL ist eben solch Doppelring mit Theilung und Index b. Aber auf dem innern Kreis stehen zwei Säulchen, welche den schwarzen Spiegel MN tragen, welcher um eine horizontale Achse, außerdem mit dem inneren Ring um eine verticale Achse drehbar ist, also jede Lage zur Gesichtslinie annehmen kann. Bei P ist noch ein Arm mit einer Linse angebracht. Der Apparat wird sehr theuer und bietet lange nicht die Vortheile, welche die Prismenstange gewährt. Der Gebrauch leuchtet aus den vorher beschriebenen völlig ein.

b. Links- und rechtsdrehende Krystalle.

Fast alle Krystalle geben bei paralleler Stellung der Polarisationsebenen des Polarisators und Analysators das Maximum, bei gekreuzter Stellung das Minimum der Erleuchtung. Bringt man aber eine 1^{mm} dicke Quarzplatte, die senkrecht zur optischen Achse geschliffen ist, zwischen die beiden Nicol'schen Prismen und läßt nur einfarbiges Licht durchgehen, indem man ein rothes Glas vorsetzt, so muß man den analysirenden Nicol aus der parallelen Richtung noch um 19^0 drehen, um das Maximum, und aus der gekreuzten Stellung um eben so viel, um das Minimum der Erleuchtung, im weißen Licht das weiße und das schwarze Kreuz zu erhalten. Diese Größe der Drehung gilt für rothes Licht, für die anderen Farben ist eine noch stärkere Drehung erforderlich.

Der Quarz dreht also die Polarisationsebene des auffallenden Lichts, und zwar die des brechbareren stärker als die des weniger brechbaren. Es ist auch festgestellt, daß diese Drehung der Dicke des angewendeten Krystalls proportional ist. Bei dem äußersten Violet beträgt die Drehung durch eine Platte von 1^{mm} Dicke über 40^0. Dabei bemerkt man, daß einige Quarze die Polarisationsebene links, andere dagegen sie rechts drehen. Man unterscheidet daher links und rechts drehende Krystalle. Außer dem Quarz und vielleicht noch einem Mineral, dem

borsauren Natron (Borax), sind keine anderen festen Körper mit dieser Eigenschaft, die Polarisationsebene zu drehen, gefunden worden; dagegen haben verschiedene Flüssigkeiten sie, wenn auch nicht in hohem, doch noch in merklichem Grade, wenigstens wenn man dickere Schichten derselben anwendet. Linksdrehende Flüssigkeiten sind z. B. Terpentinöl, arabisches Gummi, Traubenzucker; rechtsdrehende: Zuckersyrup, Dextrin, Weinsteinsäure, Citronenöl, alkoholische Kampferlösung u. s. w. Da, wie schon erwähnt, die Drehung der Polarisationsebene bei festen Körpern der Dicke der Platte proportional ist, so wird, wie auch Biot bestätigt gefunden hat, bei einer Zuckerlösung der Zuckergehalt der Größe der Drehung proportional sein, wenn die Flüssigkeitsschicht dieselbe Länge behält. Man kann daher den Zuckergehalt einer Lösung bestimmen, wenn man durch einen Versuch ermittelt hat, wie lang die Flüssigkeitsschicht sein müsse, damit dem Gehalte von 1% ein Grad Drehung der Polarisationsebene entspreche; es sei dies eine Schicht von 20cm. Länge; zeigte dann eine genau so lange Schicht einer zu prüfenden Zuckerlösung zwischen den beiden gekreuzt gestellten Nicols eine Drehung von 6° oder 8°, so enthielte sie eben so viel Procent Zucker.

Bei der Herstellung des Maximums oder Minimums der Beleuchtung waltet aber eine gewisse Unsicherheit, welche, bei dem geringen Drehungsvermögen, z. B. einer Zuckerlösung das Resultat um mehrere Procent unsicher machen kann. Um das Instrument empfindlicher zu machen, kittet man eine linksdrehende und eine rechtsdrehende Quarzplatte, jede von 3,75mm Dicke, neben einander, schleift sie dann recht eben, bis sie die angegebene Dicke haben, und setzt sie hinter das polarisirende Nicol'sche Prisma, so daß nun das Licht durch den ersten Nicol, durch die Doppelplatte von Quarz, dann durch die zu prüfende Flüssigkeit, endlich durch den analysirenden Nicol gehen muß. Stellt man die Hauptschnitte der Nicols parallel, so erscheinen beide Quarzplatten, wenn kein anderer Körper zwischen den Nicols ist, ganz gleich gefärbt, nämlich purpurviolet, weil hier alles gelbe Licht ausgeschlossen ist; eine andere Dicke der Quarzplatte würde auch eine andere Farbe geben. Dieses Purpurviolet ist nun aber gerade eine solche Farbe, in der die geringste Abweichung am leichtesten zu bemerken ist; sie heißt deshalb die empfindliche Farbe; die Franzosen nennen sie teinte de passage, Uebergangsfarbe. Dreht man den Ocularnicol im geringsten rechts, so wird die rechte Hälfte der Doppelplatte roth, die linke blau.

Tritt nun der Lichtstrahl aus der Doppelplatte in eine drehende Flüssigkeit, z. B. eine Zuckerlösung, so erblickt das Auge hinter dem zweiten Nicol die eine Platte roth, die andere blau gefärbt, und zwar, da Zucker rechts dreht, rechts roth, links blau. Man wird also durch eine Linksdrehung die empfindliche Farbe wieder herstellen.

Man könnte die Nicols auch gekreuzt stellen, dann würden beide Hälften der Quarzplatte gelb erscheinen; bei dieser Farbe sind aber kleine Abweichungen lange nicht so leicht zu erkennen, wie beim Purpurviolet.

Eine Rohrzuckerlösung enthält meist noch einen Antheil links drehenden Traubenzuckers, der also einen Theil der Drehung nach Rechts aufhebt. Um die Größe dieser Linksdrehung durch den Traubenzucker zu erfahren, wird durch Salzsäure aller Zucker in Traubenzucker verwandelt, die Linksdrehung desselben durch einen Versuch ermittelt und von der vorher gefundenen Größe abgezogen; die Differenz ist die Linksdrehung des ursprünglich in der Flüssigkeit befindlichen Traubenzuckers, die zu der Rechtsdrehung, welche der erste Versuch ergab, hinzugerechnet werden muß, weil sie die ursprüngliche Rechtsdrehung, welche der Rohrzucker, wenn er nicht vermischt wäre, gegeben hätte, um so viel vermindert hat. Aus der so gewonnenen Gradzahl wird dann der richtige Zuckergehalt berechnet, indem der Procentgehalt der Gradzahl gleichgesetzt wird.

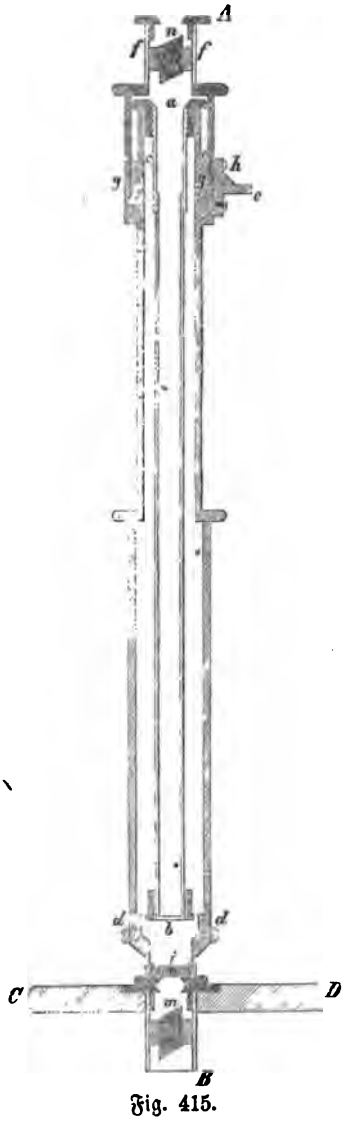


Fig. 415.

Hierauf beruht nun das Saccharometer von Soleil. (Fig. 415) stellt einen Durchschnitt der zur Aufnahme der Zuckerlösung bestimmten Röhre ohne den Fuß und Träger des Instruments vor; ab ist das Glasrohr zur Aufnahme der Lösung; es ist an beiden Enden mit Fassungen versehen und durch klare Glasplatten geschlossen. Nachdem die Flüssigkeit eingefüllt, wird dieses Rohr in das weitere Messingrohr cc dd eingesetzt. Bei e ist an dieses Rohr ein getheilter Kreissector von 60° angeschraubt. Ueber den oberen Rand der Messingröhre wird der Auffatz ff gg übergestülpt; dieser hat bei n ein Nicol'sches Prima, bei h trägt er den Index und Nonius zur Theilung des Sectors. Unterhalb dd verengt sich das Rohr und nimmt bei i die Doppelplatte von Quarz auf. Bei der Aufstellung wird dieses Rohr in ein Stativ gesetzt, wozu auch der Fuß eines zusammengesetzten Mikroskops dienen kann, wie (Fig. 416) es darstellt. In die Oeffnung

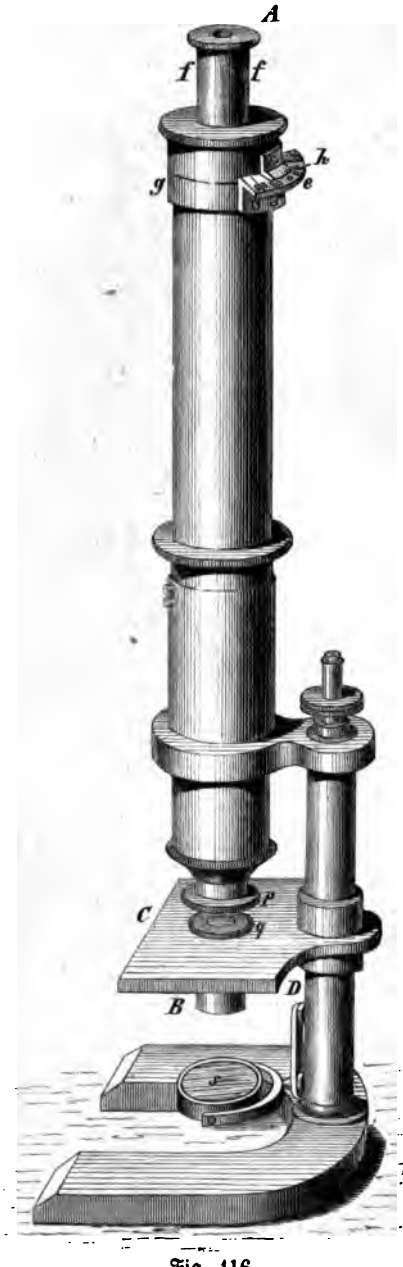


Fig. 416.

der Fußplatte CD setzt man das Nicol'sche Prisma q mit seiner Fassung (m der Fig. 415); p ist die Fassung der Quarzplatte i. Bei dieser senkrechten Stellung des Instruments wird auch der unter B befindliche Spiegel s des Mikroskops zur Beleuchtung verwendet. Stellt man es aber auf einem geeigneten Stativ horizontal auf, so kann der Spiegel wegbleiben, weil man dann gegen das helle Tageslicht hindurchsieht.

c. Schnell gekühlte Gläser.

Eine besondere Beobachtung verdienen die Versuche mit schnell gekühltem Glase im polarisirten Lichte. Den Gläsern wird durch Schleifen die Form gegeben, die sie haben sollen, dann wickelt man einen Eisendraht um sie, erhitzt sie über Kohlenfeuer gleichmäßig bis zur anfangenden Dunkelrothglühhitze und schwingt sie dann am Drahte schnell im Kreise herum, bis sie erkaltet sind. Zu den Versuchen werden die Gläser in hölzerne Futter gefaßt, wie (Fig. 417), welche zwei über einander gelegte Gläser darstellt, die eine sehr schöne Figur geben. Mit dem aus einem starken Eisendraht bestehenden Stiel können sie im Polarisationsinstrument bequem aufgestellt

werden. Ungefaßte gekühlte Gläser werden in den Rahmen (Fig. 418) gespannt. Mit der Schraube s wird ein starker einseitiger Druck gegen das Glas ausgeübt. In diesem Zustande wird der Rahmen mit seinem

Fig. 417.

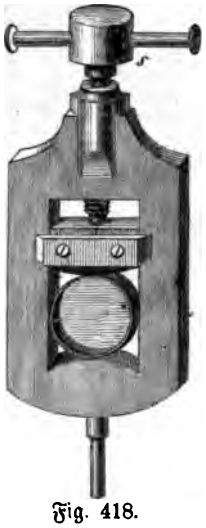


Fig. 418.

Stiel am Polarisationsinstrument zwischen den Polarisator und Analysator gebracht; zieht man die Schraube stark an, so entstehen im polarisirten Lichte die bekannten Figuren, wie sie die Lehrbücher aufführen.

XII. Die Wärme.

1. Ausdehnung der Körper.

Die Ausdehnung fester Körper zeigt man mit einer Messingkugel und einer Messingplatte (Fig. 419) in welcher sich ein Loch befindet, das so weit ist, daß die Kugel gerade noch durchgesteckt werden kann. Die Kugel wird an einen Stiel geschraubt und mit einem Heft versehen; die Platte faßt man mit einer Zange. Wenn das Loch in der Platte nicht zu groß ist, so reicht die Erhitzung über der einfachen Weingeistflamme schon aus, sonst muß man die Bunsensche Gasflamme anwenden. Man kann auch die durchbohrte Platte auf ein Fußgestell schrauben, die Kugel mit einem Häkchen versehen, um sie mit der Zange fassen zu können; wenn sie heiß gemacht, legt man sie auf die Platte. Wenn die heiß gemachte Kugel wieder kalt geworden, fällt sie von selbst hindurch.

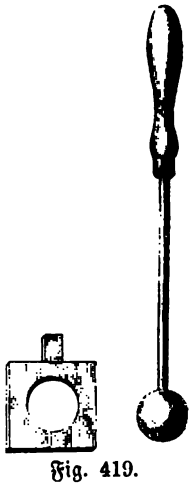


Fig. 419.

Eine zweite Platte ist so durchbohrt, daß die Kugel nicht hindurchgeht; erhitzt man die Platte, so hat sie Raum genug, um durchzufallen; ist aber die Platte wieder kalt geworden, so geht sie wieder nicht durch.

Für Körper in Stangenform macht der Apparat (Fig. 420) die Ausdehnung durch die Wärme sehr anschaulich, indem die Verlängerung durch den Doppelhebel stark vergrößert wird. Das Fußbrett AB ruht auf vier Füßen; bei gh ist ein 1—2 cm. breiter, 20 cm. langer, rechteckiger Ausschnitt gemacht, in welchen ein Kasten aus Messingblech eingesetzt wird; dazu paßt ein Deckel, um die Oeffnung zu verschließen; dieser faßt ringsum etwas über die Oeffnung über und hat wenigstens an den zwei schmalen Seiten senkrecht gegen seine Ebene angelöthete Plättchen, welche sich mit etwas Reibung an den Kastenwänden in den Kasten schieben lassen, so daß die Deckelplatte feste Haltung bekommt.

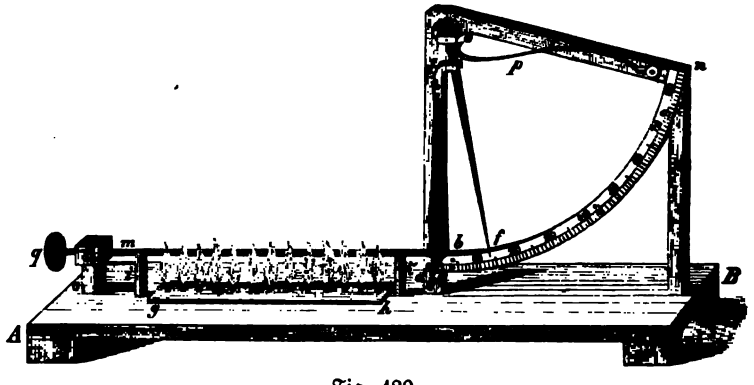


Fig. 420.

In Abständen von $^1/_2$—1 cm. ist die Deckplatte durchbohrt, um ebenso viele baumwollene Dochte durchstecken zu können. Auf die festen Untersätze i, k, die oben eine Hohlkehle haben, legt man die Metallstangen, deren Ausdehnung gezeigt werden soll; bei m legt sich die Stange gegen das Ende einer Schraube q, die durch den festen Ständer o geführt ist. An einem hölzernen Rahmen ist der getheilte messingene Kreisbogen bn befestigt; ad ist ein um a drehbarer Hebel, ef der eigentliche Weiser für den Gradbogen; bei d biegt sich der Hebel ad rechtwinklig um und bildet eine zweischenklige Gabel, die den Zeiger ef aufnimmt; p ist eine am Arm des Rahmens befestigte stählerne Uhrfeder, welche den Zeiger ef stets gegen den Boden der Gabel d drückt. Zu diesem Apparat gehören nun verschiedene Metallstangen wie cm, eine aus Eisen, andere aus Stahl, Kupfer, Messing, Zink u. s. w. Soll ein Versuch damit angestellt werden, so nimmt man die Platte gh mit den Dochten fort, gießt Brennspiritus in den Blechkasten und setzt den Deckel wieder auf; es vernothwendigt sich zuweilen, die oberen Enden der Dochte noch mit etwas Weingeist zu befeuchten. Man legt

nun eine der Stangen ein, richtet sie vermittelst der Schraube q so, daß, wenn sie bei c gegen den Hebel cd stößt, der Zeiger ef mit seiner Spitze f gerade auf den Nullpunkt der Theilung zeigt; endlich zündet man sämmtliche Dochte an. Sofort weicht der Zeiger ef zurück und läuft auf den Gradbogen immer weiter, erreicht aber für jedes Metall ein Maximum der Höhe, über das er nicht hinausgeht. Man wird bemerken, daß die Stahlstange den Zeiger am wenigsten hebt, auf den Stahl folgt das Eisen, dann Kupfer, Messing, Blei, Zink; die Größen der Ausdehnung dieser Metalle folgen also in dieser Ordnung, das Zink dehnt sich am stärksten aus. Die Ausdehnung der Stange verhält sich zum Bogen, welchen die Zeigerspitze f beschreibt, wie ac. de : ad. ef; dieses Verhältniß ist bei meinem Apparat wie 1 : 64. Die Stange mc dehnt sich geradlinig aus, aber die Punkte c und d beschreiben Bogen; es muß also zu dem Bogen, der zur Vergleichung der Ausdehnung dienen soll, die halbe Sehne des doppelten Bogens genommen werden; da sich diese halben Sehnen aber wie die Bogen verhalten, so wird das Verhältniß dasselbe sein. Da man indeß die Temperatur, wenigstens unmittelbar, nicht messen kann, überdies die Theile der Stange, welche nicht von der Flamme getroffen werden, nicht eben so erhitzt werden wie die übrigen, so kann das Instrument doch zu eigentlich messenden Versuchen nicht gebraucht werden. Es zeigt blos, welches Metall mehr, welches weniger ausgedehnt wird als andere. Soll der Versuch unterbrochen werden, so löscht man die Flammen am bequemsten mit einem Blasebalg aus, faßt die heiße Stange mit der Tiegelzange und kühlt sie in Wasser ab. Läßt man die Stange aber im Apparate abkühlen, so zeigt sich, daß die Körper, bei Abnahme ihrer Temperatur, wieder ihr früheres Volumen annehmen. Messende Versuche über die Ausdehnung der Körper erfordern viel zu kostspielige Apparate und nehmen zu viel Zeit in Anspruch, um in einer Unterrichtsstunde angestellt zu werden.

Die Ausdehnung der tropfbaren Flüssigkeiten zeigt man an einer Glasröhre mit Kugel, in welche man Wasser einfüllt. Um das Wasser einzufüllen, erwärme man die Kugel über der Spiritusflamme, tauche dann die Oeffnung unter Wasser und lasse sie so erkalten (Fig. 421), so wird eine Portion Wasser hineinsteigen; wird die Kugel nicht voll Wasser, so erhitzt man sie mit dem darin befindlichen Wasser abermals und verfährt wie vorhin. Ist die Kugel und ein Theil der Röhre bei der gewöhnlichen Lufttemperatur mit Wasser gefüllt, und man erwärmt nun die Kugel mäßig, so sieht man das Wasser in der Röhre steigen. Da nun das Glas der Kugel und Röhre sich selbst auch ausdehnt, der innere Raum des Instruments also größer wird, das Wasser aber dennoch höher steigt, so beweist dies,

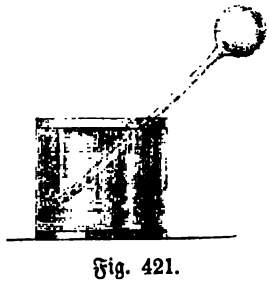


Fig. 421.

daß das Wasser sich mehr ausdehnt als das Glas. Nach dem Versuche mit Wasser kann man denselben mit Quecksilber anstellen. Da es sich zuweilen ereignet, daß beim eben beschriebenen Einfüllen des Wassers oder Quecksilbers die erhitzte Kugel springt, (es geschieht dies, wenn die kalte Flüssigkeit sehr schnell in die Höhe steigt und zuletzt gegen das erhitzte Glas der Kugel anschlägt), so kann man die Flüssigkeit vorher etwas erwärmen und nun die Oeffnung der Röhre, nachdem die Kugel erwärmt worden, in die warme Flüssigkeit tauchen; nach einiger Uebung wird man so viel Geschick erworben haben, daß man so viel Umstände nicht mehr nöthig hat. Man muß nur nicht gleich beim ersten Erhitzen der Kugel so weit gehen wollen, die ganze Menge Flüssigkeit auf einmal in die Röhre zu bringen, also die Kugel zuerst nur mäßig erhitzen und eine kleine Menge Flüssigkeit eintreten lassen; nun wird die Kugel mit der Flüssigkeit die schon eingefüllt ist, erhitzt; wenn man dann die Röhre wieder in die noch einzufüllende Flüssigkeit eintaucht, so wird die hineinsteigende Flüssigkeit nur die schon in der Röhre vorhandene in die Höhe heben, und, falls so viel hineinläuft, daß sich die Kugel damit füllt, so kommt doch nicht die kalte, sondern nur die schon erwärmte Flüssigkeit mit der Kugelwand in unmittelbare Berührung, was ungefährlich ist. Die Gefahr des Zerspringens der Kugel ist übrigens auch um so geringer, je besser die Kugel bei ihrer Anfertigung gekühlt worden.

Um die Ausdehnung der Luft und Gase zu zeigen bedient man sich am besten einer Glasröhre mit Kugel in der Form (Fig. 422); man füllt Quecksilber in die Kugel, was, da die Röhre nur eng ist, natürlich nach dem eben beschriebenen Verfahren geschieht; es wird noch etwas Luft in der Kugel zurückbleiben und durch das Quecksilber abgesperrt sein. Man erwärme dann die Kugel mäßig über der Spiritusflamme, so treibt die sich ausdehnende Luft das Quecksilber zurück und zeigt so, daß sie sich durch die ihr zugeführte Wärme ausgedehnt hat. Läßt man den Apparat erkalten, so wird das Quecksilber durch die äußere Luft wieder in die Kugel zurückgetrieben.

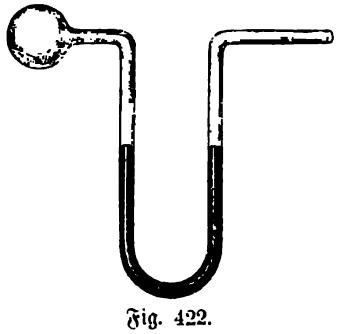


Fig. 422.

Allerdings beweist das Verfahren, die Kugel und die enge Röhre mit Flüssigkeit zu füllen, an sich schon die Ausdehnung der Luft durch die Erwärmung und die Zusammenziehung beim Erkalten. Da aber hiebei kein anderer Körper in der Röhre ist, der den Raum begrenzt, so wird das, was man zeigen will, doch nicht anschaulich. Die Größe der Ausdehnung läßt sich bei Unterrichtsversuchen nicht bestimmen, da die Zeit einer Stunde bei den vielen zu beobachtenden Vorsichtsmaßregeln unmöglich ausreichen kann.

An Thermometern wird man, theils der Anschauung der verschiedenen Formen, theils der Verwendung zu verschiedenen Zwecken wegen, mehrere Exemplare vorräthig halten müssen. So zwei Stück, welche Temperaturen von — 20° oder — 30° bis + 80° R. angeben, nach ganzen Graden getheilt und so eingerichtet sind, daß sie in Flüssigkeiten eingetaucht werden können, d. h. die Scale muß in einer Glasröhre eingeschlossen sein (Fig. 423 u. 424); zwei in Fünftelgrade von — 30° bis + 30° R. gehend, welche zugleich als Psychrometer dienen können; eins für Temperaturen bis 200 oder 300° R.; eins mit cylindrischem Gefäß statt der Kugel (Fig. 423). Ein Thermometer mit Scale auf einer Platte, zur Beobachtung der Lufttemperatur stellt (Fig. 425) vor; die Scale ist auf eine auf Holz befestigte Metallplatte aufgetragen.

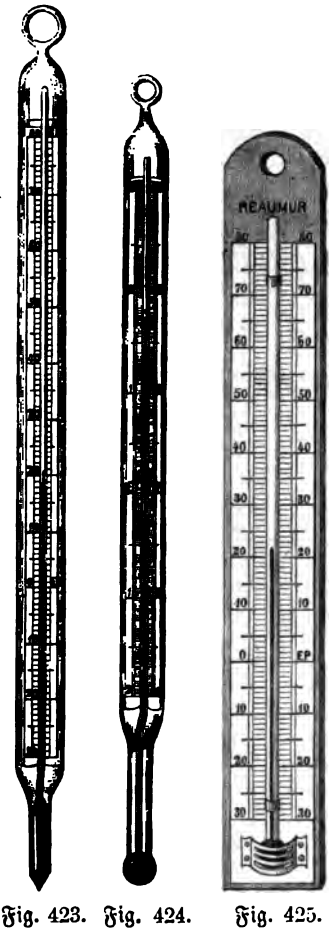


Fig. 423. Fig. 424. Fig. 425.

Was die Maximum- und Minimumthermometer anlangt, so sind letztere, aus einem Alkoholthermometer mit hohlem Glasstäbchen unter der Oberfläche der Flüssigkeit bestehend, ganz zweckentsprechend; aber die Maximumthermometer lassen zur Zeit noch viel zu wünschen übrig. Es sind Quecksilberthermometer, in denen ein Eisenstift über dem Quecksilber liegt und bei der Ausdehnung der Flüssigkeit durch diese fortgeschoben werden soll. Es ereignet sich aber sehr oft, daß der Eisenstift, wenn das Quecksilber sich ausdehnt, liegen bleibt, also unter das Quecksilber gelangt, wo dann keine richtige Ablesung mehr möglich ist. (Fig. 426) stellt das Instrument mit seiner Befestigung dar; die Platte, worauf beide Thermometer befestigt sind, ist von Glas und hat für jedes eine besondere Scale; sie ist um einen Stift a in ihrer eigenen Ebene drehbar; durch eine solche Drehung, welche man nach der Ablesung vornimmt, kommen beide Stifte wieder an ihren richtigen Ort, weil die Thermometer entgegengesetzte Lage haben. (Fig. 427) zeigt die Einrichtung,

welche das Drehen der Platte ermöglicht; cc ist ein bogenförmiger Ausschnitt.

Nachdem man beim Unterrichte die Thermometer behandelt hat, wird es an der Zeit sein; den Lernenden den Begriff der Wärmeeinheit deutlich zu machen. Zwar ist hiezu kein besonderer Apparat nöthig und wir könnten den Gegenstand füglich übergehen. Ich erwähne ihn aber, weil es bei manchen Schülern gar nicht so leicht ist, den Begriff zum richtigen Verständniß zu bringen, wie man denken sollte. Es liegt dies darin, daß die Wärme an sich ein abstracter Begriff ist und man nicht gewöhnt ist, abstracte Begriffe auf eine bestimmte Einheit zurückzuführen, um sie danach zu messen. Daß der

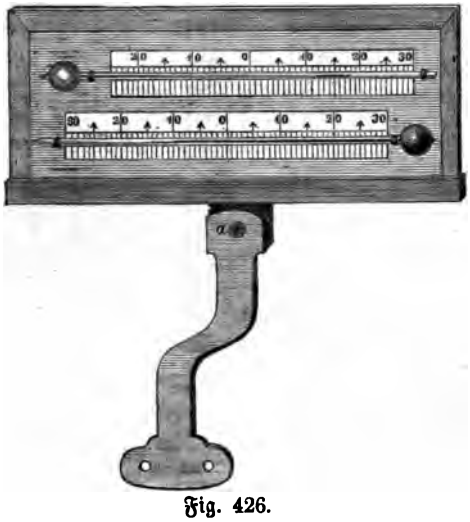


Fig. 426.

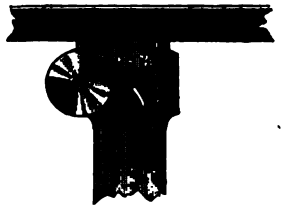


Fig. 427.

Lernende die gegebene Definition wieder hersagt, ist natürlich noch kein Beweis des Verständnisses, sondern ein bloßer Gedächtnißact. Man wird sich von der Richtigkeit meiner Bemerkung überzeugen, wenn man den Ausdruck bei der Flüssigkeits- und bei der Verdunstungswärme, so wie bei der specifischen Wärme in Anwendung bringt. Zu bemerken bleibt noch, daß es ganz gleichgültig ist, ob man dabei das Gramm oder das Kilogramm gebrauche, wenn man nur in derselben Untersuchung dasselbe Gewicht beibehält; es wird überhaupt die Gewichtseinheit zu Grunde gelegt.*)

* Die meisten Lehrbücher nennen, was ich mit Wärmeeinheit bezeichne, Calorie offenbar eine völlig barbarische Wortbildung; man denke nur, was herauskäme, wenn man von pondus in derselben Weise ein Wort für Gewichtseinheit ableiten wollte, wie Calorie von calor gebildet ist! Dazu kommt,

Interessant ist der Versuch zur Bestimmung der **größten Dichtigkeit** des Wassers; ich stelle ihn mit folgender Vorrichtung an (Fig. 428). Ein gewöhnlicher Glascylinder AB mit Fuß ist in einer Seitenlinie zweimal durchbohrt und an diesen Stellen mit seitlichen, horizontalen Thermometern T, t versehen, eins in der Nähe des Bodens, eins nach Oben hin. Wenn der Versuch angestellt werden soll verschaffe ich mir Wasser, das nahe an 0° Temperatur hat, indem ich in beliebigem Gefäß mittelst Eis Brunnenwasser so weit abkühle und in den Cylinder gieße, der nun im geheizten Zimmer stehen bleibt; damit die Temperaturerhöhung schneller vor sich gehe und der Versuch innerhalb einer Stunde beendigt werden könne, stelle man den Cylinder in die Nähe des warmen Ofens. Beide Thermometer werden bald eine Zunahme der Temperatur anzeigen, jedoch wird das untere mehr steigen als das obere; das untere, schwerere Wasser ist also wärmer als das obere, leichtere. Bei der Erwärmung von 0° an zieht sich also das Wasser zusammen, wird dichter. Dies geht so lange fort bis alles Wasser 4° C erreicht hat, von wo an das obere Thermometer dem unteren vorangeht, so daß also von da ab das wärmere Wasser leichter ist als das kältere.

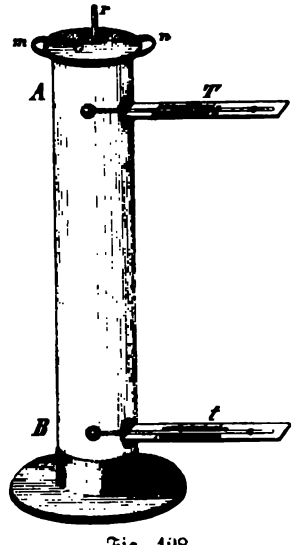


Fig. 428.

Damit verbinde ich zugleich noch einen zweiten, der dasselbe in anderer Weise beweist. Ich wähle zu dem eben beschriebenen Instrument einen Cylinder, an dem sich oben ein umgebogener Rand befindet; dieser Rand wird oben eben abgeschliffen, außerdem wird eine dicke, eben geschliffene Glasplatte C die etwa so groß ist wie die Weite des Cylinders bis zur äußeren Peripherie dieses Randes, in der Mitte durchbohrt; in die Durchbohrung wird ein Glasröhrchen r von 1—2 mm. Weite so eingekittet, daß es nach Innen mit der Glasfläche der Platte im Niveau steht, nach Außen aber 2—3 cm darüber vorragt. Bei dem Versuche wird der Cylinder ganz mit Wasser gefüllt, die Platte so aufgesetzt, daß das Röhrchen nach Oben steht, und mittelst zweier federnder Klemmen m, n an den Rand gedrückt. Vorsichtshalber wird das Röhrchen inwendig benetzt, um die Capillarität zur vollen Geltung zu bringen; setzt man dann die Platte auf den übervollen Cylinder, so zieht sich

---

daß die, welche das Wort gebrauchen, nicht einmal wissen, wie sie es aussprechen sollen; ich habe eben so viele Calórie sagen hören wie Caloríe. So ein Wort muß aus der Wissenschaft verschwinden.

sofort etwas Wasser ins Röhrchen hinein; und es ist doch noch so viel vorhanden, daß es außen herunterläuft; in dem Röhrchen steht also nun das Wasser so hoch, als die Capillarität solches, je nach der Weite desselben, erfordert; es wird oberhalb der Glasplatte sichtbar werden. Hat man, wie vorher, Wasser von nahe 0° genommen und läßt im warmen Zimmer die Temperatur steigen, so bemerkt man bald, daß das Niveau im Röhrchen fällt, und zwar so lange, bis alles Wasser 4° C erreicht hat; von da an wird es, bei weiterer Erwärmung im Röhrchen steigen. Man kann füglich beide Versuche gleichzeitig anstellen und erhält dann auf zwei ganz verschiedenen Wegen die Ueberzeugung, daß das Wasser bei 4° C die größte Dichtigkeit hat.

Auf der ungleichen Ausdehnung der Metalle beruht folgende kleine Vorrichtung. Ein etwa $10^{cm.}$ langes, $5^{mm.}$ breites und $2^{mm.}$ dickes Stäbchen von Eisen wird mit einem eben so großen Zinkstäbchen zusammengenietet, so daß die Nietstifte höchstens $1^{cm.}$ von einander ab-

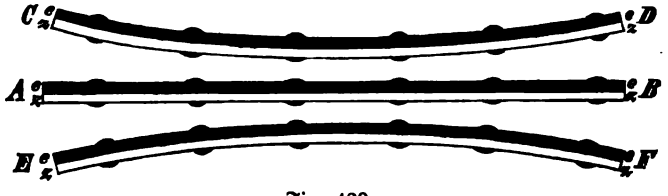


Fig. 429.

stehen. Ist nun das Doppelstäbchen bei der gewöhnlichen Lufttemperatur gerade, wie AB (Fig. 429), so wird es sich krümmen, wenn man es erwärmt oder erkältet, und zwar im ersten Falle wie CD, so, daß das Zink auf der convexen Seite des Bogens liegt, im anderen wie EF, so, daß das Zink auf die concave Seite zu liegen kommt. Das Zink dehnt sich nämlich bei der Erwärmung mehr aus als das Eisen und zieht sich bei der Erkältung mehr zusammen als dieses. In ihren Anwendungen nennt man solche Doppelstreifen Compensationsstreifen.

Auf solchen Compensationsstreifen beruhen die Metallthermometer, deren es zweierlei Art giebt.

a. Holtzmann's Thermometer in der Form einer Taschenuhr (Fig. 430). Der Compensationsstreifen a b c besteht aus Stahl und Kupfer, letzteres an der hohlen Seite; die einzelnen Metallstreifen sind nur sehr dünn und entweder zusammengelöthet, oder im glühenden Zustande durch Walzen auf einander gepreßt. Das Ende c ist am Gehäuse durch ein Paar Schrauben befestigt. An das andere Ende a ist ein Metallstreifen a d angeschraubt, der bei d hakenförmig umgebogen ist und mit seinem Ende sich bei e gegen ein vorstehendes Eisenstückchen stemmt; f o g ist ein sich um o drehender Hebel, f o der kürzere, o g der längere Hebelarm; bei g trägt dieser Hebel einen gezahnten Kreisbogen h i, in dessen Zähne das kleine Trieb k eingreift, auf dessen Achse auf

der vorderen Seite des Instruments der Zeiger l m aufgesetzt ist; n n ist eine feine Spiralfeder, die den Hebel f o g immer gegen das Ende d des an den Compensationsstreifen angesetzten Metallstücks a d hintreibt; der Zeiger l m läuft über eine auf der Vorderseite angebrachte Gradtheilung. Bei steigender Temperatur dehnt sich der Compensationsstreifen etwas, zieht den Hebel so nach Links, der gezahnte Bogen h i geht also nach Rechts, das Trieb k, und mit ihm der Zeiger l m, dreht sich nach Links, d. h. wenn man die Theilung auf der Vorderseite vor sich hat, nach Rechts. Eine Abnahme der Temperatur bewirkt eine entgegengesetzte Drehung, und in diesem Falle wirkt die Spiralfeder n n auf das Trieb und auf den Hebel in der angegebenen Weise, so daß nie todter Gang entstehen kann. Die Gradtheilung wird nach einem guten Quecksilberthermometer gemacht.

Fig. 430.

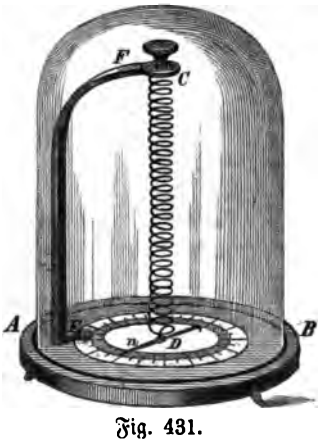


Fig. 431.

b. Breguet's Thermometer (Fig. 431) besteht aus einem schmalen Band aus drei Metallstreifen, Silber, Gold und Platin in dieser Folge; sie werden bei hoher Temperatur zusammen gewalzt und dadurch untrennbar vereinigt und auf die geringe Dicke von $^1/_{100}$ Linie gebracht; über einen cylindrischen Stab spiralförmig gewunden und schwach geglüht behält, der Streifen die ihm gegebene Form bei. Der Streifen C D wird dann am oberen Ende eines Stativs A B E F in verticale Lage gebracht und erhält unten einen horizontalen Zeiger n, der auf eine im Kreise angebrachte Gradtheilung zeigt. Bei steigender Temperatur biegt sich der Streifen wegen der ungleichen Ausdehnung der verbundenen Metalle auseinander, bei abnehmender Temperatur mehr zusammen; Ersteres bewirkt eine Drehung des Zeigers nach der einen

Seite, das Andere nach der entgegengesetzten. Natürlich wird auch hier der Gradbogen nach einem Quecksilberthermometer angefertigt.

Das Breguet'sche Thermometer ist viel empfindlicher als ein Quecksilberthermometer, weil bei jenem die Wärme der umgebenden Luft sofort auf das gut leitende Metall wirken kann, dagegen bei diesem erst das schlecht leitende Glas durchdringen muß, ehe sie zu dem Quecksilber gelangen kann. So z. B. zeigt dasselbe ein Sinken der Temperatur an, wenn man es während des Auspumpens unter die Luftpumpenglocke setzt, ein Steigen beim Wiederzulassen der Luft.

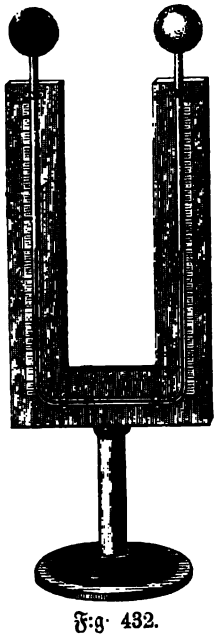


Fig. 432.

Auf demselben Princip beruht die Harrison'sche Art der Compensation der Uhrpendel und die der Unruh in den Federuhren (s. m. Lehrb. p. 291), während die Quecksilber- und Rostpendel darauf beruhen, daß ein Körper mit der Pendelstange verbunden wird, welcher sich dieser entgegengesetzt ausdehnt und zusammenzieht (s. a. a. O.)

Die Differentialthermometer beruhen auf der Ausdehnung der Luft.

a. Leslie's Differentialthermometer. (Fig. 432) ist eine zweimal rechtwinklig gebogene Glasröhre, in welche so viel mit Carmin gefärbte, verdünnte Schwefelsäure gefüllt wird, daß der mittlere Theil der Röhre und noch die Hälften der verticalen Schenkel davon eingenommen werden. An den Enden der Röhre werden gleichgroße Kugeln angeblasen, welche die Luft enthalten, durch deren Ausdehnung die Wärme, die darauf strahlt, gemessen wird. An den verticalen Theilen werden Scalen zwar gleicher, aber sonst willkürlicher Theile angebracht, welche füglich auf dem Träger des Instruments ihre Stelle finden.

Daß diese Instrumente unter einander nicht vergleichbar sind, wie die gewöhnlichen Thermometer, erhellet daraus, daß ihre Grade nicht Theile des Fundamentalabstandes, oder sonst irgend einer bestimmten Temperaturdifferenz sind, sondern ganz willkürlich gewählt werden. Man muß also zu derselben Untersuchung, d. h. zu Beobachtungen, die mit einander vergleichbar sein sollen, stets dasselbe Instrument gebrauchen. Man hat als Flüssigkeit Schwefelsäure gewählt, die mit einer farbigen Substanz, Mennige oder dgl. gefärbt wird; sie verändert sich nicht und bei den geringen Temperaturerhöhungen, denen sie hier ausgesetzt wird, verdunstet sie auch nicht. Ich pflege zwischen den beiden Kugeln noch einen aus einer Metallplatte bestehenden Schirm anzubringen, damit nicht die der einen Kugel zugeführten Wämestrahlen auch die andere treffen. Dieser Schirm ist hier nur bei der folgenden

Figur gezeichnet. Da Körper mit schwarzer Oberfläche die Wärme reichlicher absorbiren, so pflegt man die eine Kugel mit einem matten Schwarz (Kienruß) zu überziehen und dann bei den Versuchen diese der Wärmequelle auszusetzen.

b. Rumford's Differentialthermometer (Fig. 433) hat im Abgemeinen dieselbe Form wie das Leslie'sche, jedoch wird der mittlere Theil der Röhre länger gemacht, dahingegen die beiden verticalen Schenkel kürzer sind. Die Scale wird am horizontalen Theil, von der Mitte aus nach beiden Seiten aufgetragen; in der Mitte steht der Nullpunkt. Als Flüssigkeit dient ein Tropfen verdünnter Schwefelsäure, die gleichfalls gefärbt sein kann. Dieses Instrument ist aller-

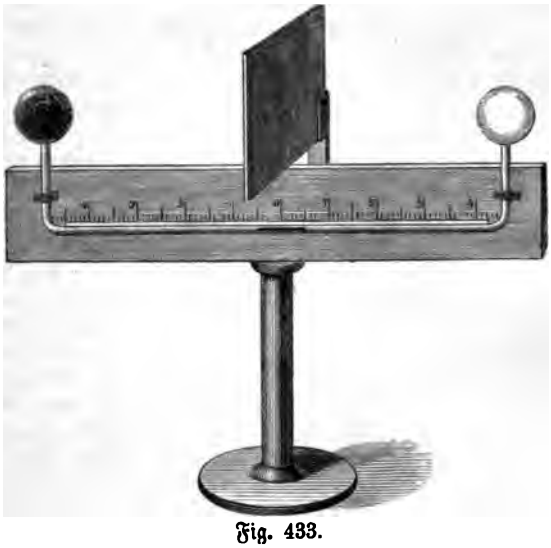


Fig. 433.

dings empfindlicher als das Leslie'sche, da hier eine viel kleinere Masse in Bewegung zu setzen ist; aber es hat den Nachtheil, daß der Tropfen beim Transporte sich leicht verschiebt, auch wohl theilt, so daß Luft aus den Kugeln zwischen die Theile der Flüssigkeit zu stehen kommt. Man muß dann die gesammte Flüssigkeit durch Berühren der einen Kugel mit der Hand nach der anderen Kugel treiben und durch oft langwierige Versuche nach und nach wieder an ihren rechten Ort zu bringen versuchen.

2. Veränderung des Aggregatzustandes.

Versuche über Bestimmung der Schmelzpunkte sind wohl nicht für Unterrichtsstunden geeignet; dagegen kann wohl die beim Schmelzen des Eises gebundene Wärme durch einen Versuch bestimmt werden, und da

dieser Begriff für die Jugend immer erst etwas Fremdartiges an sich hat, so halte ich einen Versuch darüber durchaus für nöthig. Um aber diesen Versuch einzuleiten, sollte man erst einen oder zwei Versuche über die bekannte Richmann'sche Regel anstellen, nämlich, 1) die Mischungstemperatur zweier gleichen Gewichte Wasser von verschiedenen Temperaturen, 2) die Mischungstemperatur von zwei ungleichen Gewichten Wasser von verschiedenen Temperaturen bestimmen. Dadurch überzeugen sich die Schüler von der Regel, daß man diese Mischungstemperatur nach der bekannten Mischungsrechnung zu berechnen hat, daß Temperaturen gerade ebenso in die Rechnungen eingehen, wie Preise, Werthgrößen irgend anderer Art. Wenn man die Versuche nicht mit kleinen Quantitäten Wasser anstellt (man sollte wenigstens 1 Kgr. von jedem Theil anwenden), so wird der unvermeidliche Verlust an Wärme das Resultat nicht sehr beeinträchtigen.

Nun erst, wenn die Richmann'sche Regel zur Deutlichkeit gebracht, sollte man Eis und Wasser mischen, um das Verschwinden der Wärme zu zeigen, erst 1 Kgr. Eis von 0° und 1 Kgr. Wasser von 63° R., welche 0° geben müssen, dann 1 Kgr. Eis von 0° und 1 Kgr. Wasser von einer höheren Temperatur, etwa 70 oder 80° R; mißt man mit einem Thermometer die Temperatur der Mischung, so wird sich $\frac{70-63}{2}$ oder $\frac{80-63}{2}$ Grad ergeben. Ganz besonders ist darauf zu sehen, daß die Schüler den Sinn der gebundenen Wärme beim Schmelzen des Eises richtig auffassen; gewöhnlich sagen sie: es werden 63° Wärme gebunden, was an sich gar Nichts sagt, wenn man nicht mehr hineinlegt, als sprachlich darin liegt; man muß sie zu der Einsicht führen, daß eben so viel Wärmeeinheiten verschwinden als Grade. Nicht daß die Sache an sich schwierig sei, aber der ganze Begriff liegt außerhalb des Gedankenkreises der Jugend; darum erfordert der Gegenstand eine besonders sorgfältige Behandlung.

Kältemischungen werden in allen Lehrbüchern reichlich angegeben; die meisten nehmen Schnee oder Eis als einen Bestandtheil in sich auf. Im Winter und an Orten, wo man auch im Sommer Eis aus Eiskellern erhalten kann, ist es das billigste Mittel, um Kälte zu erzeugen, in Verbindung mit Kochsalz oder Chlorcalcium, das aber noch sein Krystallwasser haben muß; in einem hölzernen oder thönernen Gefäße gemischt, kann man 28 bis 36° R. Kälte erhalten; die Verhältnisse geben die Lehrbücher an. Je kälter die Bestandtheile waren, desto kälter wird die Mischung; aber ganz besonders kommt es darauf an, nicht zu geringe Mengen dazu zu verwenden. Um sie recht kalt zu erhalten, kühlt man sie in einer vorläufigen Mischung aus 1 Th. Kochsalz und 3 Th. Schnee ab. Muß man Eis verwenden, so sollte es so fein wie möglich gestoßen werden. Schnee ist aber immer bequemer. Man streut die zu mischenden Stoffe in kleineren Quantitäten abwechselnd aufeinander, ungefähr in dem zu mischenden Verhältniß, rührt mit einem Stab

tüchtig um, schüttet dann wieder, unter fortgesetztem Rühren, neue Quantitäten in demselben Verhältniß auf und fährt so fort bis zu Ende. Setzt man eine Metallschale mit Wasser in die Mischung, so gefriert dieses. Bei einigen Mischungen (s. m. Lehrb. p. 300) kann man sogar Quecksilber gefrieren lassen.

Das Freiwerden der gebundenen Flüssigkeitswärme beim Erstarren kann man auf verschiedene Weise zur Wahrnehmung bringen.

a) In ein am einen Ende verschlossenes Glasröhrchen (ein etwas weiteres Reagenzröhrchen) stelle man ein Thermometer, gieße so viel Wasser hinein, daß die Kugel davon bedeckt ist, darauf eine dünne Schicht Oel, und setze das Ganze in eine Kältemischung aus Eis und Kochsalz. Das Thermometer wird bald einige Grad unter Null sinken, ohne daß das Wasser gefriert, wenn nur Alles recht ruhig steht. Dann schüttle man das Rohr, oder werfe einen Eiskrystall hinein, so wird sofort das Ganze gefrieren und das Thermometer auf Null steigen.

b) In einem Becherglas löse man etwa 20 gr. krystallisirtes Glaubersalz in halb so viel Wasser auf, indem man es über der Lampe erhitzt, stelle ein Thermometer hinein und lasse es in völliger Ruhe bis zur Temperatur der umgebenden Luft abkühlen. Damit man noch in derselben Stunde mit dem Versuch fertig werde, kann man das Glas in frisches Wasser stellen. Ist die gewünschte Abkühlung erfolgt, so hebe man das umgebende Wasser mittelst eines Stechhebers wieder heraus, weil sonst die nachher eintretende Erhitzung des Salzes nicht so hoch steigen würde; man muß aber dabei die Vorsicht anwenden, die im inneren Glase enthaltene Salzlösung nicht zu schütteln. Wirft man einen kleinen Krystall desselben Salzes in die Lösung, so erstarrt die ganze Masse und das Thermometer steigt bis einige 20°. Man kann dieselbe Mischung immer wieder zu demselben Versuche gebrauchen, wenn man sie in einem Kölbchen aufbewahrt, um sie sofort zum Erwärmen fertig zu haben. Es ist dann zweckmäßig, das Gefäß mit Etiquette zu versehen.

c) Erhitzt man unterschwefligsaures Natron (ohne Wasser zuzusetzen) in einem Glasröhrchen, so schmilzt es in seinem Krystallwasser; man stelle ein Thermometer hinein und lasse die Flüssigkeit fast bis zur Lufttemperatur abkühlen; wenn dann das Röhrchen etwas angestoßen wird, so wird die Masse augenblicklich fest und erhitzt sich um mehrere Grade. Denselben Versuch kann man auch mit essigsaurem Natron anstellen, nur muß man hier einen Krystall desselben Salzes hineinwerfen.

Hier mag noch die leicht schmelzbare Metalllegirung angeführt werden, die man manchmal gebraucht, um feine Gegenstände aus edlen Metallen zu löthen, so wie zu Abgüssen bei galvanoplastischen Arbeiten. Sie besteht aus 1 Th. Zinn, 1 Th. Blei und 4 Th. Wismuth. Um sie zu bereiten bedient man sich eines eisernen Gießlöffels, erhitzt darin erst das Blei, welches den höchsten Schmelzpunkt hat, über der Bunsenschen Gasflamme und setzt dann, noch ehe es geschmolzen ist, die anderen Metalle zu. Sind sie alle in Fluß, so rührt man die Masse mit

einem eisernen Stab tüchtig um, damit die Metalle sich gleichmäßig vertheilen.

Der Versuch zeigt zugleich, welche bedeutende Veränderungen die Schmelz- und Erstarrungspunkte der Körper durch Mischung erfahren.

Die Verdunstungswärme, d. h. die Wärme, welche beim Verdunsten einer Flüssigkeit gebunden wird, läßt sich leicht nachweisen, aber nur schwer dem Maße nach bestimmen. In einem Kolben A (Fig. 434) erhitzt man eine abgewogene Menge Wasser bis zum Kochen; durch den Kork, welcher den Kolben verschließt, wird ein zweimal rechtwinklig gebogenes Glasrohr bcd, dessen einer Schenkel cd viel länger ist als der andere b, mit dem kürzeren Schenkel so weit durchgesteckt, daß die Oeffnung nur wenig in den Kolben hineinreicht; der andere Schenkel cd wird in einen gegen 1^m tiefen Glascylinder BC gesteckt, der so gestellt ist, daß das Rohr bis fast auf den Boden reicht. Nun gieße

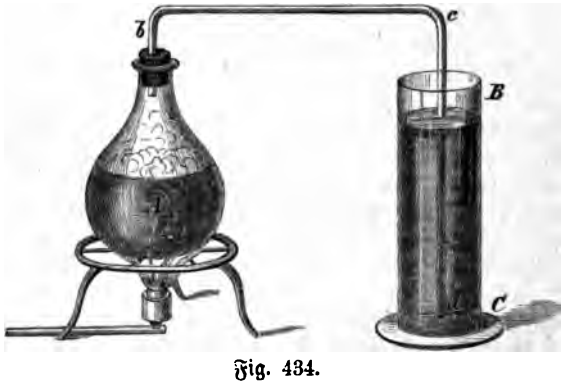


Fig. 434.

man eine ebenfalls abgewogene Menge kalten Wassers in den Cylinder BC und bestimme, vor Anfang des Versuchs, seine Temperatur. Um nicht durch die im Kolben A enthaltene Luft freie Wärme ins Wasser des Cylinders einzuführen, muß man das Rohr bcd noch einmal lüften und das Wasser in A so weit erhitzen, daß die Luft aus dem Kolben ausgetrieben wird. Da aber hiebei etwas Wasser verloren geht, so muß, streng genommen, jetzt eine nochmalige Wägung desselben vorgenommen werden. Nachdem man den Kolben wieder geschlossen und das Rohr in BC eingeführt hat, erhitze man das Wasser des Kolbens bis zum Kochen und erhalte es auch längere Zeit auf der Siedhitze. Der Dampf streicht dann durch das Rohr und das Wasser im Cylinder BC giebt seine freie Wärme an dieses ab und condensirt sich; einige Dampfblasen freilich werden im Wasser emporsteigen, meist aber verschwinden ehe sie die Oberfläche erreicht haben. Nachdem ein merklicher Theil des Wassers im Kolben A verdampft, unterbricht man den Versuch, d. h. man löscht die Flamme und nimmt sofort das Rohr aus dem Hals des Kolbens,

weil sonst das Wasser aus dem Cylinder in den Kolben übergehen und den ganzen Versuch verderben würde. Man lese nun die Temperatur des Wassers im Cylinder BC ab und bestimme das Gewicht des noch im Kolben A befindlichen Wassers; was dies weniger ist als Anfangs, ist verdampft. Der übergegangene und zu tropfbarem Wasser condensirte Dampf wird die in ihm gebunden gewesene, bei der Condensation aber frei gewordene Wärme an das Wasser im Cylinder BC mitgetheilt, und dieses um eine gewisse Anzahl Grade erwärmt haben. Daraus aber ist nun die latente Wärme des Wassers zu bestimmen. Sind nämlich m gr. Wasser verdampft, hatte der Dampf 100° C. freie Wärme, und sind im Cylinder BC M gr. Wasser von t° auf t'° erwärmt worden, und bezeichnen wir endlich mit x die latente Wärme des Wasserdampfes, so theilt der Dampf mx Einheiten an gebundener Wärme dem Wasser mit, und m (100—t') Einheiten freie Wärme; diese beiden Wärmeportionen erzeugen in den M gr. Wasser M. (t'—t) Wärmeeinheiten, also ist:

$$mx + m(100-t') = M(t'-t)$$

$$x = \frac{M(t'-t) - m(100-t')}{m}$$

Wäre bei einem Versuche M = 60 gr., m = 1 gr., t = 10° C, t' = 20,° 33, so würde sich nach dieser Formel x = 540,° C ergeben.

Den Versuch, worauf sich diese Berechnung der latenten Wärme des Dampfes gründet, ist mancherlei Fehlern ausgesetzt; der größte Fehler wird aber darin liegen, daß der Dampf, wenn er in das kalte Wasser kommt, nicht mehr 100° haben, sondern auf dem Wege einen nicht ganz unwesentlichen Theil seiner Temperatur verloren haben wird. Einigermaßen kommt man diesem Verluste zuvor, wenn man das Leitungsrohr kurz macht, mit einem schlechten Wärmeleiter (Werg, Baumwolle ꝛc.) umwickelt, und, um die Mittheilung der Wärme von der Flamme an das kalte Wasser zu verhindern, einen Schirm zwischen beide setzt. Das Wasser im Cylinder BC, in welches der Dampf geleitet wird, erwärmt sich nach und nach über die Temperatur der Luft und giebt dann Wärme an die Umgebung ab. Dies ist eine zweite Fehlerquelle, die sich nur schwer aufheben läßt. Die Physiker haben Apparate construirt, in der Absicht, diese Fehlerquellen unschädlich zu machen; bis zu einem gewissen Grade haben sie den Zweck erreicht, die Apparate sind aber für den Schulunterricht zu theuer und die damit anzustellenden Versuche zu langwierig für unseren Zweck. Wenn der oben beschriebene, einfache Versuch das Resultat auch wirklich nicht genau richtig giebt, so weiß man doch den Grund des Fehlers, und für den Unterricht ist der eigentliche, formale Zweck erreicht.

Mit anderen Flüssigkeiten als Wasser wird man in der Schule nicht Versuche über latente Wärme anstellen; es kommt ja nur darauf an, die Begriffe zu klären, damit eben andere Versuche nach etwa zu gebender Beschreibung verstanden werden können.

3. Spannkraft der Dämpfe.

Vor Allem ist durch Versuche deutlich zu machen, daß der Dampf irgend einer Flüssigkeit für jede Temperatur ein Maximum der Spannung und Dichtigkeit erreichen kann, das er nie übersteigt. Zu diesem Zwecke nehme man das Rohr, dessen man sich zum Torricellischen Versuche bedient, fülle es fast ganz mit Quecksilber, nur etwa 8^{mm} Luft darin lassend, schließe es mit dem Finger zu und kehre es mehreremal um, so wird die im Rohr zurückgebliebene Luft die, welche am Glase und Quecksilber adhärirt, meist mit fortreißen und der Versuch wird, wenn auch nicht ganz genau, was nur durch Auskochen des Quecksilbers erreichbar wäre, doch schon viel richtiger als ohne diese Vorsicht ausfallen. Nun gieße man oben auf das Oeckſilber im Rohre eine Schicht Wasser, so daß das Rohr bis an den Rand voll wird, schließe es mit dem Finger und stelle es umgekehrt mit der Oeffnung unter Quecksilber. Um nun den Stand des Quecksilbers im Rohr festzustellen, befestige man die Röhre in einer der Hohlkehlen an dem Arm der Halterstange und messe den Abstand des äußeren und inneren Niveaus. Beobachtet man gleichzeitig den Stand des Quecksilbers im Barometer, so wird man finden, daß es, Falls während des Versuchs die gewöhnliche Stubentemperatur von etwa 10^0 C. stattfindet, 15^{mm} tiefer steht als im Barometer. Die (Fig. 435) stellt den Versuch deutlich dar; AB ist die noch emporgehobene Quecksilbersäule, BC die noch übrig gebliebene kleine Wassersäule, während ein großer Theil des auf das Quecksilber gegossenen Wassers sich in dem Raume über C in Dampfgestalt befindet und das Quecksilber so tief herunterdrückt.

Ganz ebenso kann man, statt Wasser, Alkohol oben auf das Quecksilber gießen; man bemerkt dann, das das Quecksilber $50—60^{mm}$ tiefer sinkt als es im Barometer steht; bei Anwendung von Aether würde es sogar um 400^{mm} sinken. Je tiefer also der Siedepunkt der Flüssigkeit liegt, desto stärker verdunstet sie.

Wenn man, wie in (Fig. 436). die Röhre etwas schief hält und das Ende über der Flüssigkeit mit der Spirituslampe etwas erwärmt, so sinkt das Quecksilber noch tiefer, welche Flüssigkeit man auch über das Quecksilber gegossen haben mag. Bei höherer Temperatur üben die Dämpfe einen größeren Druck auf die sperrende Flüssigkeit aus als bei niedrigerer Temperatur. Bei $51—52^0$ C. drücken Wasserdämpfe das Quecksilber schon um 100^{mm} tiefer herunter als es zur Zeit im Barometer steht. Man muß bei diesem Versuche sehr vorsichtig sein, weil sonst leicht die Glasröhre entzwei geht, da sie aus ziemlich starkem Glase gemacht sein wird, daher eine ungleichmäßige Erwärmung nicht vertragen kann. Man muß mit der Flamme a bald auf-, bald abwärts gehen und dabei die Röhre AB fortwährend zwischen den Fingern drehen.

Man nehme nun einen Glascylinder AB von 70^{cm} Tiefe und 4^{cm}. Weite, der mit einem Fuß versehen ist und sich oben zu einer Schüssel von 10^{cm}. Durchmesser erweitert, wie (Fig. 437), und stelle mit Hülfe des engeren

Barometerrohrs ab, das beim vorigen Versuch gebraucht wurde, denselben Versuch wieder an, indem man das weitere Rohr bis zur Schüssel mit Quecksilber füllt und in das engere so viel Quecksilber gießt, daß nur noch etwa 8mm davon frei bleiben, welche man mit Wasser anfüllt. Schließt man dann das Rohr mit dem Finger und taucht es in dem weiteren Rohr unter Quecksilber, so werden sich dieselben Erscheinungen zeigen, die oben beschrieben sind. Man wird bemerken, daß, wenn nur

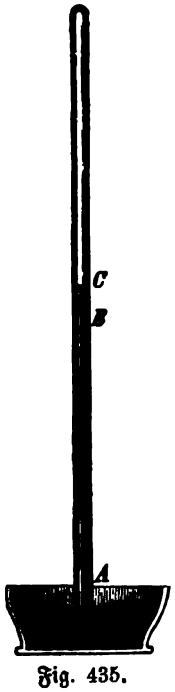


Fig. 435.

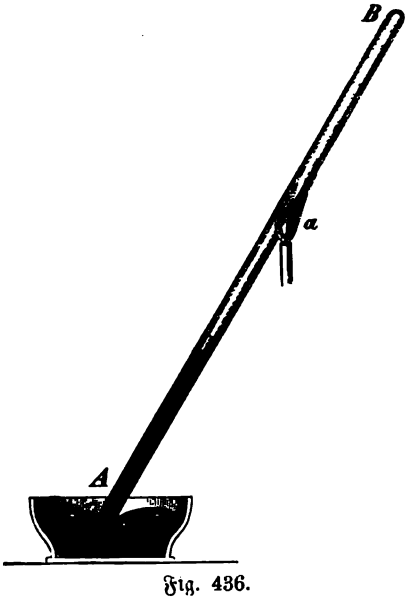


Fig. 436.

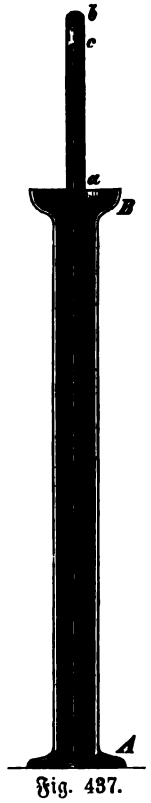


Fig. 437.

eine ausreichende Menge Wasser auf das Quecksilber gegossen worden, noch eine kleine Wassersäule bc im tropfbaren Zustande zurückbleibt. Drückt man nun das Rohr ab tiefer in das äußere Quecksilber hinein, so steigt das Quecksilber in ab höher, die Wassersäule verlängert sich, aber die Quecksilbersäule ac, um welche das innere Niveau höher steht als das äußere, bleibt unverändert von gleicher Länge. Der Raum über b, welchen die Dämpfe einnahmen, ist verkleinert; in Folge dessen hat sich ein Theil als tropfbares Wasser niedergeschlagen, aber die übrigen

üben nun denselben Druck aus, wie die größere Menge im größeren Raum. Es kann also (bei unveränderter Temperatur) in einem Raume nur eine bestimmte Menge Dampf existiren, der allemal den bestimmten Druck ausübt. Man überzeugt sich hievon besonders noch, wenn man das Rohr ab wieder in die Höhe zieht, wo dann die Menge des Wassers sich wieder vermindert, aber die Höhe der Quecksilbersäule dieselbe bleibt. Wäre trockene Luft in der Röhre, so würde beim Herausziehen dieser letzteren aus dem Quecksilber die emporgehobene Säule länger, der Raum über dem Quecksilber vergrößert, die Dichtigkeit der Luft vermindert werden.

Um die Zunahme der Dampfspannung mit der Temperatur zu zeigen, bediene ich mich des durch (Fig. 438) dargestellten Apparates. Ein Glasrohr xywz von der Länge und Weite eines Barometers, ist am einen Ende heberförmig gekrümmt; dieser kürzere Schenkel ist zu einem cylindrischen Gefäß wz ausgeblasen; die Spitze wird fein ausgezogen, bleibt aber zunächst noch offen; das andere Ende x wird verschlossen. In das Gefäß füllt man Quecksilber und kocht es aus, so daß sich über dem Quecksilber im längeren Rohr xy, gerade wie im Barometer, ein luftleerer Raum befindet. In den Raum des Gefäßes wz füllt man dann noch eine kleine Menge Wasser; dieses wird oben auf dem Quecksilber schwimmen und einen geringen Druck darauf ausüben. Es muß nun auch sämmtliche Luft aus dem Gefäße wz ausgetrieben werden. Zu dem Zwecke setzt man den unteren Theil der Röhre in ein Metallgefäß, worin sich entweder Oel oder eine Salzlösung befindet, deren Siedepunkt höher ist als der des Wassers. Kochsalzlösung hat den Siedepunkt bei 108° C., was für die Anfer-

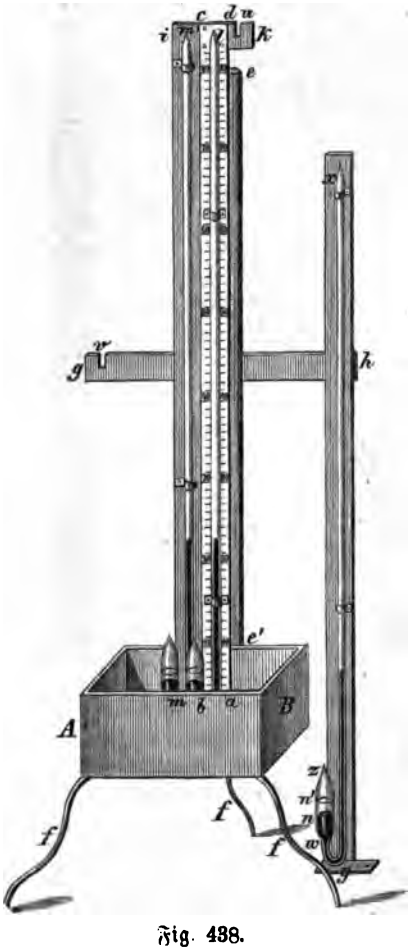


Fig. 438.

tigung des Instruments nicht genug sein wird; Salpeterlösung kann 115° liefern, was schon ausreichen dürfte; die Glasbläser pflegen Chlorcalcium zu nehmen, dessen concentrirte Lösung erst bei 179° siedet; sie lösen dann aber nur wenig Salz in vielem Wasser auf, wobei der Siedepunkt viel niedriger bleibt; so z. B. um mit Chlorcalcium eine Erhöhung des Siedepunkts des Wassers von 12° C. zu erhalten, müßte man halb so viel Salz nehmen als Wasser. Nachdem das im cylindrischen Gefäß unseres Barometers enthaltene Wasser in der über 100° erhitzten Flüssigkeit längere Zeit gekocht hat, so daß man annehmen kann, es sei mit den sich entwickelnden Wasserdämpfen auch alle Luft hinaus getrieben worden, bläst man, während das Wasser noch im Kochen begriffen ist, die Spitze mit einer horizontal geführten Stichflamme vor dem Löthrohr zu. Da die heißen Dämpfe des Wassers nun im verschlossenen Gefäße auf das Wasser, also mittelbar auch auf das Quecksilber drücken, der Raum über dem Quecksilber im längeren Schenkel aber luftleer ist, so wird das Quecksilber hier steigen und, so lange die Wasserdämpfe noch die Temperatur des kochenden Wassers haben, gerade so hoch stehen als zur Zeit in einem gut ausgekochten Barometer, weil eben ihr Druck eine Atmosphäre beträgt. Nach und nach kühlen sich die Dämpfe ab, ihr Druck vermindert sich, das Quecksilber wird in der Röhre xy fallen und wenn die Temperatur der Wasserdämpfe auf die gewöhnliche Stubentemperatur heruntergekommen, nur noch 17 bis 18^{mm} höher als im Gefäß stehen. Das Instrument ist nun zum Gebrauche geeignet, um die Spannung der Wasserdämpfe bei verschiedenen Temperaturen zwischen 0° und 100° zu ermitteln. Es ist selbstverständlich, daß die Zubereitung der Röhre, wie sie eben beschrieben worden, Sache eines geübten uud geschickten Glasbläsers, nicht des Physikers ist.

Um den Apparat zugleich so einzurichten, daß man auch die Spannkräfte der Dämpfe anderer Flüssigkeiten, z. B. Alkohol und Schwefeläther damit bestimmen kann, habe ich mir, außer der oben beschriebenen Röhre mit Wasser, noch eine eben solche mit Alkohol, und eine dritte mit Aether anfertigen lassen. Zu den Versuchen damit dient nun der Apparat (Fig. 438); er besteht aus dem aus Messingplatten verfertigten Kasten AB; dieser ist 20 ^{cm} lang, 10 ^{cm} breit und 13 ^{cm} hoch, und steht auf den drei geschweiften Füßen f, f, f, welche ihm eine größere Unterfläche geben und seine Standfestigkeit vermehren, zugleich aber auch es ermöglichen, eine beliebige Lampe unterzusetzen, um die in den Kasten gefüllte Flüssigkeit mit Brennspiritus oder mit der Bunsenschen Gasflamme zu erhitzen. An die innere Seite der einen längeren Seitenwand ist die 85 ^{cm} lange, 3 ^{cm} breite Messingschiene abcd angeschraubt, auf der die Theilung von Unten nach Oben nach Millimeter aufgetragen ist; um dieser Schiene mehr Festigkeit zu geben, befindet sich dahinter eine an die Außenseite derselben Gefäßwand befestigte Holzplatte, von welcher in der Figur auf der einen Seite bei ce' eine Längskante sichtbar ist; die Messingschiene ist an die Holzplatte angeschraubt. In der Mitte der Messingschiene ist der 32 ^{cm} lange Querarm gh angebracht, an

jedem Ende mit einem Einschnitt v versehen; ik ist eben solcher Querarm, aber nur 8 cm lang; er hat an jedem Ende einen Einschnitt wie u. Die Scalenplatte abcd nimmt eine der oben beschriebenen ausgekochten Glasröhren auf, bl. Eine zweite mm' ist auf eine andere Messingschiene befestigt, eine dritte xy wieder auf eine besondere Messingschiene. In die Schienen für die Röhren xy und mm' ist oben je eine Schraube mit Kopf von Hinten eingesetzt, so daß der Kopf von der Metallplatte etwas absteht; damit können die Schienen in die Einschnitte u (rechts und links von abcd) eingehängt werden; unten tragen diese beiden Schienen eine horizontale Platte mit zwei Löchern, (unterhalb xy ist diese Platte sichtbar) mit denen sie auf Stifte im Boden des Gefäßes AB gesetzt werden können, wenn sie zum Versuche benutzt werden sollen. Soll eine derselben nicht gebraucht werden, so wird sie mit einer an betreffender Stelle eingesetzten Schraube gerade so wie oben, in einen Einschnitt v (bei g oder h) eingehängt, wo sie dann mit dem Fuß gerade auf den Tisch, worauf der Kasten steht, reicht. Bei der Aufbewahrung werden xy und mm' in die Einschnitte u eingehängt; wenn aber mit der Röhre auf der Schiene abcd, in welche Wasser gefüllt ist, ein Versuch angestellt werden soll, so müssen die beiden anderen außerhalb des Kastens Platz finden, weil die Siedepunkte des Alkohols und des Aethers tiefer liegen als der des Wassers, das Quecksilber in diesen Röhren also bei 100° höher steigen müßte, als beim Wasser, wozu eine längere Röhre gehören würde; diese beiden Röhren werden dann also beide außerhalb so angehängt, wie die Figur es für xy zeigt. Soll mit Alkohol ein Versuch angestellt werden, so darf die Aetherröhre nicht zugleich im Kasten sein; bei dem Versuch mit Aether können aber beide anderen ebenfalls an ihrer Stelle bleiben. Man wird also die mittelste Röhre, da sie nicht so leicht zu entfernen, für das Wasser bestimmen, sie braucht dann nie weggenommen zu werden.

Zum Versuche gießt man so viel Wasser in den Kasten AB, daß die auf dem Quecksilber liegende Flüssigkeitsschicht unter dem Niveau des Wassers bleibt, und mischt dem Wasser so viel Kochsalz oder Chlorcalcium bei, als nöthig ist, um den Siedepunkt einige Grade über 100° zu erheben, beobachtet den Stand des Quecksilbers am cylindrischen Gefäß sowohl wie an der langen Röhre; zieht ersteres Maß von letzterem ab, so giebt der Rest den Dampfdruck bei der Temperatur des Wassers im Kasten, die man sofort beobachtet. Um während des Versuchs die fortschreitenden Temperaturen bequemer beobachten zu können, wird man an einem besonderen, neben den Kasten AB gestellten Ständer ein Thermometer so anhängen, daß es in das Wasser des Kastens hineinreicht. Nun setze man eine Lampe unter den Kasten; während das Wasser heißer wird, verdampft ein größerer Theil der über dem Quecksilber befindlichen Flüssigkeit, der Dampf übt einen größeren Druck auf das Quecksilber aus, dieses sinkt im Gefäß und steigt in der Röhre; man beobachte von Zeit zu Zeit die Temperatur, so wie den Stand beider Niveaux und berechne den Dampfdruck wie oben gezeigt. In dieser

Weise setzt man den Versuch fort bis zum Siedepunkt der in dem cylindrischen Gefäß über dem Quecksilber befindlichen Flüssigkeit, wo dann das Quecksilber in der Röhre um den zur Zeit stattfindenden Barometerstand über dem Niveau desselben im Gefäß stehen wird, bei mittlerem Barometerstand also um 760 mm. Hat man die Ablesungen, oder doch die daraus berechneten Dampfdrucke nebst den zugehörigen Temperaturen aufgeschrieben, so erhält man daraus eine Uebersicht über die Zunahme des Drucks bei den fortschreitenden Temperaturen. Besonders interessant wird diese Uebersicht, wenn man die Resultate von Versuchen mit verschiedenen Flüssigkeiten neben einander stellt; deutlicher noch tritt

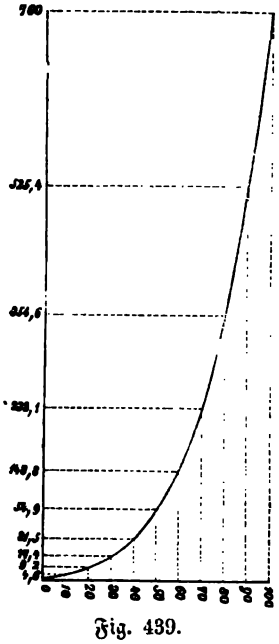


Fig. 439.

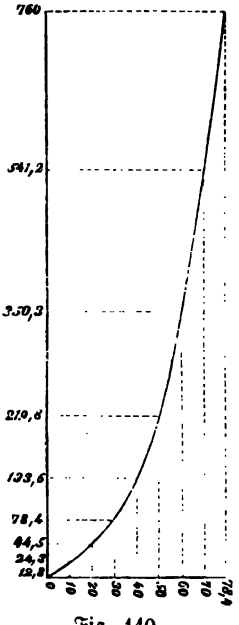


Fig. 440.

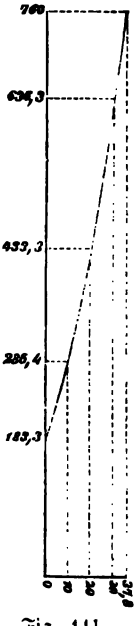


Fig. 441.

die Verschiedenheit der Dampfdrucke durch ihre graphische Verzeichnung hervor, wobei die Temperaturen durch die Abscissen, die Spannkräfte (Dampfdrucke oder Quecksilberhöhen) durch die Ordinaten vorgestellt werden. Durch (Fig. 439) wird die Spannung der Wasserdämpfe von 0° bis 100° dargestellt; die Zahlen links geben in mm. die Quecksilberhöhen an, denen der Dampf bei den Temperaturen, die unten von 10 zu 10° verzeichnet sind, das Gleichgewicht hält; diese Höhen sind jedoch nur in $^1/_{10}$ der wahren Größe verzeichnet. Gerade so stellt (Fig. 440) die Spannung der Alkoholdämpfe von 0° bis 78°,4 C., wo die Flüssigkeit siedet, vor, (Fig. 441) die Spannung der Aetherdämpfe von 0° bis 37°,8 C., dem Siedepunkte des Aethers, allemal in $^1/_{10}$ der natürlichen Größe.

Für Temperaturen unter 0° und über dem Siedepunkte der Flüssigkeit haben die Physiker besondere Instrumente ausgedacht und die Verfahrungsarten, die dabei zu beobachten sind, beschrieben; für den Zweck dieses Buches wird indeß das Mitgetheilte genügen; wer weitere Belehrung darüber verlangt, wird am besten die Originalabhandlungen der betreffenden Physiker nachlesen.

Man wird aus der Zusammenstellung der Resultate der beschriebenen Versuche bald ersehen, daß, je höher die Temperatur schon gestiegen ist, um so größere Spannungsunterschiede durch gleiche Temperaturunterschiede hervorgerufen werden; namentlich fällt dies durch die graphischen Darstellungen sofort in die Augen.

Zu weiteren Versuchen über Dampfspannung dient der Dampfcylinder. Er besteht aus einem am Ende zugeschmolzenen Glas-

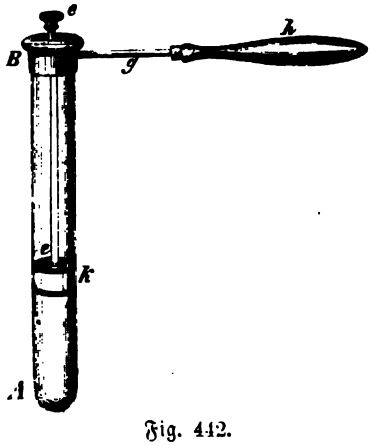


Fig. 442.

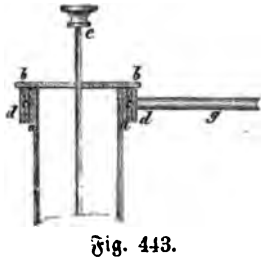


Fig. 443.

cylinder AB (Fig. 442); am offenen Ende B ist ein Messingring aa (Fig 443) auf das Glas gekittet; der Kitt darf aber durch die Wärme sich nicht lösen; Mennige mit Leinölfirniß wird dem Zweck entsprechen. In den Ring aa ist nach Außen eine Schraube geschnitten; auf diese Schraube wird die Kapsel bbcc mit vorstehender Deckplatte (bb) geschraubt. Durch die Deckplatte bb wird der Draht ee, der oben einen Knopf hat und unten den Kolben k trägt, geführt. Um das Instrument, auch wenn es heiß ist, bequem halten zu können, wird über cc noch der Ring dd geschoben, in den der Stiel g mit dem hölzernen Heft b eingeschraubt ist; der vorstehende Rand der Platte bb legt sich auf den Ring dd, das ganze Instrument wird also von diesem Ring getragen. Der Kolben k besteht aus einem kleinen Hohlcylinder mit vorstehender Ober- und Unterplatte; der Zwischenraum wird mit einem weichen Körper ausgefüllt; die untere Platte muß sich aber noch etwas weiter aufschrauben lassen, um, wenn es nöthig, den Kolben fester an die

Cylinderwand anschließen zu lassen. Füllt man nun etwas Wasser in den Cylinder, bringt den Kolben nach Unten hin und erhitzt das Wasser so geht es allmählig in Dampf über. Wenn der Dampf bei steigender Temperatur eine größere Spannung angenommen, wird sein Druck auf den Kolben diesen nöthigen, in die Höhe zu steigen. Nimmt man den Kolben vom Feuer, so kühlt sich der Dampf ab, verliert an Spannung, der Kolben sinkt durch sein eigenes Gewicht wieder herunter; bei abermaligem Erhitzen steigt er wieder u. s. w. Wenn er sinkt, sieht man das aus den condensirten Dämpfen entstandene Wasser an der Cylinderwand herunterlaufen.

Die Dampfkugel (Fig. 444) besteht aus einer hohlen Messingkugel C, die unten mit einer Stahlspitze a, oben mit einer Hülse e versehen ist. Auf die Hülse e ist nach Außen eine Schraube geschnitten;

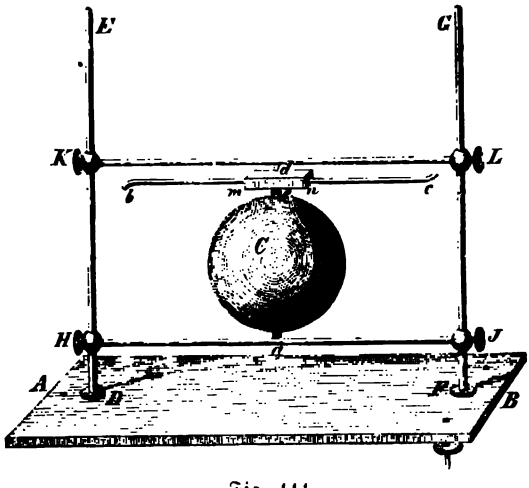


Fig. 441.

der rechtwinklige, hohle Körper hat auch eine Hülse mit innerer Schraube, die sich auf e aufschrauben läßt; mn ist verlängert durch die Röhren mb und mc, an welche an den Enden, rechtwinklig zu der Röhrenachse, in der Horizontalebene kleine Seitenröhrchen b, c mit sehr engen Oeffnungen angelöthet sind, gerade wie beim Segnerschen Rade, so daß b und c einander entgegengesetzt gerichtet sind. Auf dem Fußbrett AB, welches auf drei Stellschrauben steht, sind die senkrechten Eisenstäbe DE, FG eingeschraubt; auf diese lassen sich die Eisenstäbe HI und KL aufschieben; zu dem Ende sind letztere an den Enden mit Kugeln versehen und durchbohrt; bei H, I, K und L sind Schrauben, mittelst deren die Stäbe in beliebiger Höhe auf den Stangen DE und FG festgeschraubt werden können. Bei a ist in die Stange HI ein Plättchen eingesetzt, welches das Lager für die Spitze a bildet. Dieses

Plättchen kann aber nicht angelöthet werden, weil das Loth beim Gebrauche des Instruments schmelzen würde; es muß also entweder in einen schwalbenschwanzförmigen Falz der Stange HI eingeschoben werden, oder man macht es länger und schraubt es seitwärts vom eingebohrten Lager durch zwei Schräubchen an die Stange fest. Auch der Hohlkörper mn oberhalb der Kugel hat ein solches Plättchen mit einem Lager für eine Spitze, welche in die Stange KL eingeschraubt ist. Diese Stelle hat keine so große Hitze auszuhalten; man kann daher dieses Plättchen auf die eine oder andere Art befestigen. Zu beachten ist aber, daß beide Spitzen und die Plättchen für die Lager aus Stahl gemacht sein müssen; Eisen gäbe zu viel Reibung. Man könnte noch zwei eben solche Röhren, wie mb und nc, senkrecht zu diesen, in den Körper mn einschrauben und hätte dann zum nachfolgenden Versuch eine doppelt so große bewegende Kraft. Die Seitenröhrchen würden im Kreise herum, alle nach derselben Seite gerichtet sein.

In die Kugel C wird nun etwas Wasser gefüllt (man muß dazu den Körper mn abschrauben); es darf aber nicht zu viel Wasser sein, weil es das Ganze zu schwer machen und dann die Drehung verhindern würde. Nachdem mn mit den Röhren mb und nc wieder aufgeschraubt worden, stellt man die Stange HI so auf DE und FG fest (natürlich allemal horizontal), daß man eine Lampe (die Berzelius'sche Spiritus-, oder die Bunsen'sche Gaslampe) darunter anbringen kann und die Flamme die vortheilhafteste Höhe bekommt, um die Kugel zu erhitzen. Darauf wird die Stange KL in solche Höhe gebracht, daß die Kugel zwischen beide hineinpaßt, nicht zu lose sitzt, aber auch nicht zu viel Reibung bekommt. Nun untersuche man von zwei auf einander senkrechten Richtungen aus, mit einem Loth, das an einem dünnen Seidenfaden hängt, ob die beiden Spitzen d und a in dieselbe Verticale fallen. Ist es nicht der Fall, so helfe man mit den Fußschrauben nach, bis der Forderung genügt ist. Dann erst setze man die Lampe unter die Kugel. Wenn das Wasser ins Kochen kommt und der Dampf durch die Oeffnungen der Seitenröhrchen ausströmt, wird die Kugel sich in eine drehende Bewegung, welche der Richtung des ausströmenden Dampfes entgegengesetzt ist, versetzen. Die Geschwindigkeit wird, bei fortgesetztem Erhitzen, immer größer werden, so daß man, wegen der Dauer des Lichteindrucks, zuletzt die Röhren als vollen Kreis sieht.

Die Aeolipile (Fig. 445) ist ein Heronsball, mit dem Unterschiede, daß, statt des verstärkten Luftdrucks, Dampfdruck das Wasser aus dem Gefäße treibt. Ein cylindrisches Gefäß AB von starkem Kupfer- oder Messingblech mit einem kesselförmig nach Innen gebogenen Boden und gewölbter Decke trägt oben ein starkes Rohr CD mit Mutterschraube; in diese schraubt sich der Körper EF ein, der sich nach Oben erweitert und den Hahn H aufnimmt; nach Unten wird das Rohr EI eingelöthet oder eingeschraubt; es ist so lang, daß es, wie beim Heronsball, beinahe auf den Boden reicht. Nach Oben hin hat das Ende F wieder eine innere Schraube, in die sich Röhrstücke mit

mehr oder minder verengten Mündungen einschrauben lassen. Um den Versuch anzustellen schraubt man EF ab, füllt Wasser in das Gefäß AB und setzt das Rohr EI mit dem Hahnstück EF wieder auf, schließt den Hahn H und setzt das ganze auf eine Lampe mit starker Flamme. Man läßt nun das Wasser ins Kochen kommen und setzt dann die Erhitzung noch einige Zeit fort, um einen noch stärkeren Dampfdruck zu erzielen. Man schraubt dann eins der Röhrchen G oben auf, öffnet den Hahn, so wird ein Dampfstrahl, unter Umständen auch wohl ein heißer Wasserstrahl hoch, emporsteigen. Man hat solche Apparate auch wohl in Kugelform.

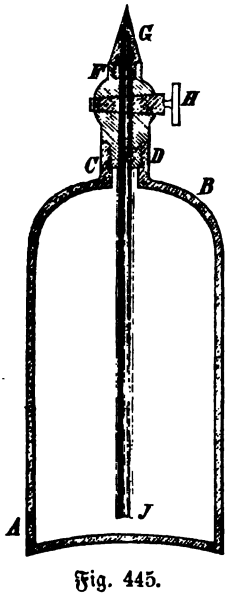


Fig. 445.

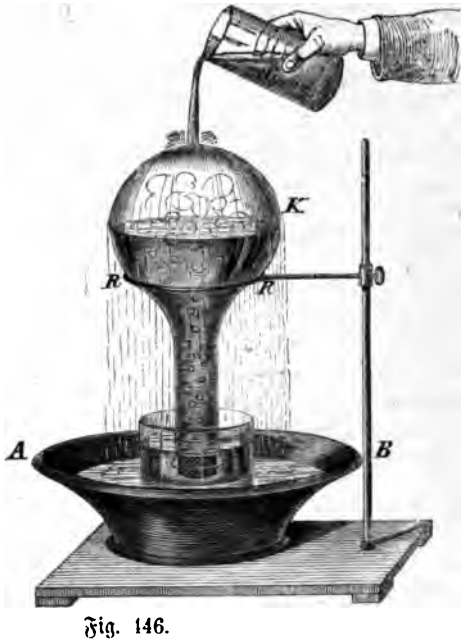


Fig. 146.

Um die Bedingungen des Siedens klar zu machen, dürfte folgender bekannte Versuch gute Dienste leisten. Man erhitzt Wasser in einem Kolben K (Fig. 446) bis zum Kochen, verschließt dann den Kolben mit einem Kork und nimmt ihn vom Feuer, hält ihn dann umgekehrt über eine Schüssel AB und gießt aus einem Gefäß G kaltes Wasser oben darauf. Da der Kolben heiß ist, so empfiehlt es sich, ihn während dieser Operation in einen Ring RR eines Stativs zu setzen; man wird aber wohl thun, den Ring erst mit einem weichen Körper, der ein schlechter Wärmeleiter ist, zu umwickeln, etwa mit einem Stück Zeug. Das Ende des Kolbens kann man allenfalls auch in einem Gefäß C unter Wasser setzen, wenn etwa der Kork nicht fest schließen sollte.

Während nach Verschluß des Kolbens das Wasser aufgehört hatte, zu sieden, fängt es jetzt wieder an und geräth in starke Wallung, dieselbe Erscheinung wiederholt sich nach mehrmaligem Aufgießen immer wieder, obgleich die Temperatur des Wassers gewiß unter 80° R. gesunken sein muß. Da vor dem Verschließen des Kolbens die meiste Luft durch die aufsteigenden Dämpfe herausgetrieben worden ist, und die Dämpfe, welche das Sieden auch verhindern würden, durch das kalte Wasser condensirt werden, so ist ein geringerer Druck vorhanden und das Wasser kann bei niedrigerer Temperatur sieden, wie im luftverdünnten Raum oder auf hohen Bergen.

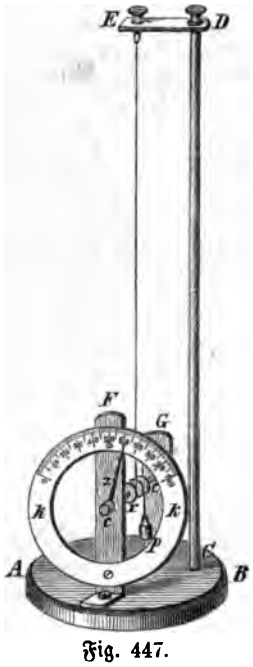


Fig. 447.

4. Hygrometer.

Wenn auch die älteren, auf der Absorption beruhenden Formen der Hygrometer für die Wissenschaft ihren Werth verloren haben, so müssen sie beim Unterricht doch noch berücksichtigt werden, einmal ihrer historischen Bedeutung wegen, dann aber weil sie im Leben doch noch oft vorkommen; da ihre Angaben, wenn sie auch nicht für völlig genau zu halten sind, sofort abgelesen werden können, während die auf der gebundenen Wärme beruhenden Instrumente einen Versuch und eine darauf gegründete Berechnung erfordern, so werden sie, wenigstens für die gewöhnlichen Zwecke, durch diese nie ganz verdrängt werden.

Das gewöhnlichste und beste unter diesen Instrumenten ist wohl das Saussürsche Haarhygrometer, das wir in (Fig. 447) darstellen. Auf dem Metallfuß AB erhebt sich die Stange CD; in D ist der horizontale Arm DE durch eine Schraube befestigt. Bei E geht eine Schraube mit Knopf durch den Arm DE; in das Ende dieser Schraube ist ein entfettetes Menschenhaar eingeklemmt. Auf dem Fuße sind zwei Ständer F, G aufgeschraubt, durch welche eine stählerne Achse cc' geführt ist; auf der Achse ist eine Rolle r mit zwei Schraubengängen, in welche das Haar eingelegt und um die es umgewickelt wird; das Ende des Haares wird mit einem kleinen Gewicht p von höchstens 15 gr. beschwert. Statt des Gewichts befestigt man das Haar auch wohl an eine Spiralfeder aus Silberdraht, deren anderes Ende am Ständer des Instruments festgemacht ist. An dem vorderen Ständer F ist der Kreis kk so befestigt, daß die Achse durch dessen Mittelpunkt geht; hier setzt man einen Zeiger z auf die Achse. Auf dem Kreis muß nun noch eine Theilung angebracht werden. Nachdem das Haar durch Kochen in Kalilauge

entfettet worden, versetzt man es nach einander in den Zustand der größten Trockenheit und den der größten Feuchtigkeit. Ersteres erreicht man dadurch, daß man das Haar zugleich mit einem austrocknenden Mittel (Schwefelsäure oder Chlorcalcium) unter die Glocke der Luftpumpe bringt und auspumpt; wenn es hier längere Zeit bleibt und die Glocke immer wieder von Zeit zu Zeit von Neuem ausgepumpt wird, ist es als vollkommen trocken zu betrachten. In den Zustand der größten Feuchtigkeit wird es gebracht, wenn es sich etliche Stunden in einem Raume befindet, in welchem sich Wasserdämpfe im Maximum befinden. Auf dem Kreisring kk bemerkt man sich den Punkt, wo der Zeiger z stehen bleibt, wenn das Haar vollkommen trocken ist, und den Punkt, wo er steht, wenn das Haar so viel Feuchtigkeit als möglich absorbirt hat. Der Bogen zwischen diesen beiden extremen Punkten soll nun aber so zu liegen kommen, daß seine Mitte in die Verticale durch das Centrum c fällt; man wird also die Hälfte des Bogens von da aus nach Rechts und nach Links hin abtragen, das Haar noch einmal in den Zustand der größten Trockenheit versetzen, dann den Zeiger auf den Endpunkt des Bogens nach Links hin richten und den Bogen zwischen beiden Endpunkten in 100 gleiche Theile theilen.

Die Grade dieses Hygrometers sind nun keineswegs den wirklichen Feuchtigkeitsmengen des Raumes, worin sich das Instrument befindet, proportional; man kann also nicht etwa annehmen, daß, wenn z. B. das Hygrometer 60° zeigt, 60 Procent des Maximums an Feuchtigkeit in dem Raume vorhanden sei. Um durch dasselbe wirkliche Feuchtigkeitsgrade angezeigt zu sehen, mußte man auf anderem Wege viele verschiedene Feuchtigkeitszustände der Luft prüfen, d. h. die Mengen der wirklich vorhandenen Wasserdämpfe in einem Raume bestimmen und zugleich die Grade, welche das Haarhygrometer in jedem einzelnen Falle anzeigt, bemerken. Auf diesem Wege würde man dahin gelangen, eine hygrometrische Tafel für das Instrument aufzustellen, welche angäbe, welchem wirklichen Feuchtigkeitsgrade jeder Grad des Hygrometers entspreche. Dies ist vielfach geschehen; Biot hat z. B. aus den Versuchen von Gay-Lussac gefunden, daß 10, 50, 90, 100 Procent des Maximums der Feuchtigkeit den Hygrometergraden 20°, 72°, 95° und 100° entsprechen.

Ganz ebenso, wie das Haarhygrometer, ist das Fischbeinhygrometer von Deluc construirt; nur ist zu bemerken, daß dazu dünne und schmale Streifchen Fischbein, die der Quere nach geschnitten sind, verwandt werden. Da die Dehnung des Fischbeins mit der der Haare nicht gleichmäßig fortschreitet, so würde das Fischbeinhygrometer wieder besonders für dasselbe construirte Tafeln erfordern.

Darmsaiten drehen sich im feuchten Zustande auf und verlängern sich somit; man hat daher auch sie als hygrometrische Körper benutzt, und entweder einen Zeiger dadurch drehen, oder sie auf eine horizontale Scheibe wirken lassen. Das Federkielhygrometer von Chiminello besteht aus einem sehr dünn geschabten Federkiel, der am einen Ende verschlossen ist; ins offene Ende wird eine enge Glasröhre (Thermo-

meterröhre) gesteckt, in beide wird Quecksilber eingefüllt, das Ganze auf einer Metallplatte befestigt und neben der Röhre auf der Platte eine Theilung angebracht. Der dünne Federkiel absorbirt Wasser aus der Luft, dehnt sich dabei aus, der innere Raum des Kiels wird größer, das Quecksilber wird also in der Glasröhre tiefer sinken. Da der Einfluß der Temperaturänderung hier nicht unbedeutend ist, dafür aber nur mit ziemlicher Umständlichkeit eine Correction anzubringen ist, so wird man durch dieses Hygrometer nicht sehr genaue Angaben erhalten.

Die bisher beschriebenen Hygrometer beruhen auf der Absorption des Wasserdampfes der Luft durch feste Körper. Man kann bekanntlich die Absorption auch durch Salze, welche Wasser anziehen (Chlorcalcium) oder durch Säuren (z. B. Schwefelsäure) bewirken lassen und diese Körper vor und nach der Absorption wägen. Da hiezu keine besonderen Instrumente erforderlich sind, so können wir diese Methoden übergehen.

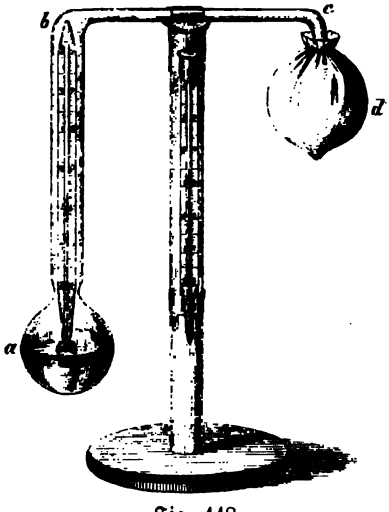


Fig. 448.

Eine andere Classe der Hygrometer beruht auf der Bestimmung des Thau- oder Condensationspunktes, d. h. derjenigen Temperatur, bei welcher der in der Luft vorhandene Wasserdampf sich zu verdichten, tropfbar flüssig zu werden anfängt. Ein solches Hygrometer ist das Daniell'sche. Es besteht aus einer zweimal rechtwinklig gebogenen Glasröhre a b c d (Fig. 448), an deren Enden a, d Kugeln von etwa 3 cm Durchmesser angeblasen sind. Der Schenkel a b ist länger als c d, um innerhalb ein Thermometer aufzunehmen. Die Röhre wird durch ein um das mittlere Stück gelegtes Messingband auf einem Stativ befestigt, an welchem noch ein Thermometer t t zur Angabe der Lufttemperatur angebracht ist. Die Kugel a ist bis zur Hälfte mit Schwefeläther gefüllt und das Thermometer taucht mit der Hälfte seiner Kugel unter die Oberfläche des Aethers. Während die Spitze an der Kugel d noch offen ist, wird der Aether in der Kugel a ins Kochen gebracht, um alle Luft aus dem Inneren der Röhre und der beiden Kugeln zu entfernen; dann wird die Spitze zugeblasen. Um die Mitte der Kugel a wird ein Ring von echtem Goldblatt gelegt und polirt, so daß er einen klaren Spiegel bildet; die Kugel d dagegen erhält einen Ueberzug von dünnem Musselin.

Um hiemit den Thaupunkt zu finden, befeuchtet man den Musselinüberzug mit Schwefeläther. Man muß hiezu in die Flasche, die den-

selben enthält, ein Röhrchen mit ziemlich enger Oeffnung einsetzen. Wenn auch neben dem ausfließenden Aether keine Luft eindringen kann, wird durch die Wärme der die Flasche umfassenden Hand doch genug Aether herauskommen, da die in der Flasche enthaltenen Aetherdämpfe und die Luft so stark ausgedehnt werden, daß ihr Druck weit größer wird als der Druck der äußeren Luft. Wenn der Musselinüberzug gut mit Aether befeuchtet ist, wird dieser verdampfen und dabei Wärme binden, die er der Glaskugel entzieht. Die Glaskugel wird kälter; da sie luftleer ist, so wird sie mit Dämpfen des Aethers in der anderen Kugel a angefüllt sein; diese werden nun aber auch kälter, ein Theil derselben schlägt sich in der Kugel d nieder; da jetzt diese Kugel weniger Dämpfe enthalten wird als die Kugel a, so werden aus dieser die vorhandenen Aetherdämpfe durch ihre eigene Ausdehnsamkeit nach der Kugel d hinübergetrieben werden. Da hierdurch die Dämpfe in der Kugel a dünner geworden, so wird von der Oberfläche des Aethers in der Kugel ein neues Verdampfen eintreten; dadurch wird Wärme gebunden, welche der Umgebung, also der Glaswand der Kugel entzogen wird, mittelbar auch dem Goldring auf der Außenseite der Kugel a. So lange die Hülle der Kugel d mit Aether befeuchtet bleibt, wiederholt sich derselbe Vorgang immer wieder; die Temperatur wird daher bald soweit sinken, daß die Wasserdämpfe der Luft sich auf dem blanken Goldring niederschlagen. Man muß nun den Augenblick wahrnehmen, wo der Goldring sich zu bethauen anfängt, wobei er weniger spiegelnd, wie man sagt „blind" wird. In demselben Augenblick lese man die Temperatur im Inneren des Instruments vom inneren Thermometer ab; nachgehends auch die äußere Lufttemperatur vom Thermometer am Ständer. Jene erste ist der gesuchte Thaupunkt. Aus beiden beobachteten Temperaturen berechnet man mit Hülfe einer Tabelle über die Expansivkräfte der Wasserdämpfe für alle in der freien Atmosphäre vorkommenden Temperaturen die Procente an Wasserdampf, welche die Luft zur Zeit des Versuchs vom Maximum bei der bestehenden Temperatur enthält.

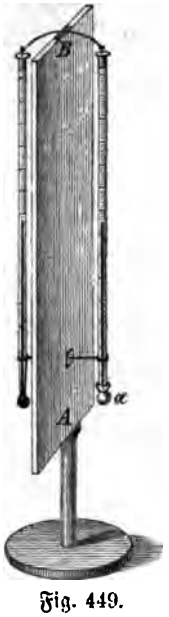


Fig. 449.

August's Psychrometer besteht aus zwei mit einander genau übereinstimmenden Thermometern, die in Fünftelgrade getheilt sind, so daß man Zehntelgrade ablesen kann. Sie werden an einem Gestell mit Fuß so aufgehängt, daß die breitere Seite des Ständers AB (Fig. 449) den Thermometern zugekehrt ist, damit verhindert werde, daß Wärme vom einen Thermometer dem anderen mitgetheilt werde. Die Kugel a des einen Thermometers wird mit Musselin umwickelt. Diese Kugel wird mit destillirtem Wasser befeuchtet, indem man ein Gefäß mit solchem von Unten her der Kugel nähert und soweit hebt,

daß die umwickelte Kugel eintaucht. Den Versuch stellt man am besten am offenen Fenster an, ohne jedoch Zugluft auf das Instrument wirken zu lassen. Das Wasser verdunstet und kühlt dadurch die Thermometerkugel ab; beides geschieht um so schneller und energischer, je trockener die Luft ist, und dauert so lange, bis die Luft in der Umgebung der befeuchteten Thermometerkugel mit Dämpfen gesättigt ist. Die Temperatur, welche das befeuchtete Thermometer anzeigt, wenn es stationär geworden, heißt nach August die Verdunstungskälte. Aus der Temperaturdifferenz beider Thermometer läßt sich der Dampfgehalt der Luft berechnen.

5. Specifische Wärme.

Ehe man Versuche über die specifische Wärme der Körper anstellt, wird es gerathen sein, die Richmann'sche Regel über die Mischungstemperatur zweier gleichartiger Körper von verschiedenen Temperaturen durch den Versuch zu constatiren. Man habe z. B. 2 Kgr. Wasser von 12° C. und 3 Kgr. von 17° C.; berechnet man die Mischungstemperatur voraus, so findet man diese

$$t = \frac{2.12 + 3.17}{5} = 15^{0}.$$

Um die Fehlerquelle zu vermeiden, welche sich aus dem Umstande, daß das Gefäß, worin die Mischung gemacht wird, heißer oder kälter ist als die Mischungstemperatur, erhitze man in diesem Gefäß eine beliebige, aber nicht zu geringe Menge Wasser bis zu der voraus berechneten Mischungstemperatur, im obigen Beispiel 15° C, und erhalte das Wasser möglichst auf dieser Temperatur. Dann wäge man die bestimmten, vorher in Rechnung gezogenen Gewichte Wasser (2 und 3 Kgr.) ab, bringe jede auf die Temperatur, welche dafür in die Rechnung eingeführt worden (12° und 17°); nun gieße man das auf die Mischungstemperatur erhobene Wasser fort und gieße schnell die anderen beiden Quantitäten in das so leer gewordene Gefäß. Ein hineingehaltenes Thermometer wird dann zeigen, daß die Mischung in der That die berechnete oder doch nur wenig davon verschiedene Temperatur angenommen hat.

Zum Versuche, die specifische Wärme nach der Mischungsmethode zu finden, wähle ich meist Wasser und Quecksilber. Freilich führt das Quecksilber den Uebelstand mit sich, daß es sich, seiner Schwere halber, sofort auf den Boden legt und sich mit dem Wasser nicht mischt; allein wenn man beide Flüssigkeiten gleich nach dem Zusammengießen gut durch einander rührt, so wird man ein ziemlich genaues Resultat erhalten. Namentlich sollte man auch hier dem Gefäß die anderweitig bekannte Mischungstemperatur geben, nicht weniger dem Körper, womit man die Flüssigkeiten umrührt. Auch sollte man den Versuch nicht mit zu kleinen Quantitäten anstellen, weil die äußeren, zu Fehlern führenden Temperatureinflüsse desto bedeutender werden, je geringere Mengen dem Versuch unterworfen werden.

Die Versuche, die specifische Wärme durch Eisschmelzen im Calorimeter nehmen zu viel Zeit weg, um sie in einer Unterrichtsstunde zu beendigen. Um nur eine Anschauung davon zu geben helfe ich mir auf andere Weise; in ein großes Stück Eis AB (Fig. 450) grabe ich eine möglichst große Vertiefung C aus und verschaffe mir noch ein Stück Eis D, welches eine ebene Fläche hat, und sich dazu eignet, jene Aushöhlung vollständig zu bedecken. Nun erhitze man Wasser in einem Gefäß bis zu einer höheren Temperatur (90—100° C) die man mit dem Thermometer bestimmt, wäge den festen Körper e, dessen specifische Wärme man bestimmen will, lege ihn dann in das Wasser und erhalte dieses so lange auf derselben Temperatur, bis man annehmen kann, daß der eingelegte Körper dieselbe Temperatur angenommen hat; dann gieße man das Wasser ab, schütte den Körper sogleich in die Höhlung C des Eises und decke die Vertiefung mit dem Eisstück D zu. Ich stelle den Versuch gewöhnlich nur im Winter an und mache ihn dann außerhalb des geheizten Zimmers, damit nicht Eis durch die äußere Luftwärme geschmolzen werde. Nach einiger Zeit wird die Temperatur im Innern des Eises durch ein Thermometer untersucht; ist sie noch nicht auf 0° gesunken, so wird noch gewartet und später wieder geprüft; zeigt dann das Thermometer 0° an, so wird der Körper e herausgenommen, das Wasser, welches vom geschmolzenen Eise herrührt in ein Gefäß gegossen und gewogen. Um auch die letzten am Eise adhärirenden Spuren Wasser in Rechnung zu ziehen, wäge man etwas trockenes Löschpapier ab, trockne die Eishöhle damit aus und wäge es dann wieder; der Ueberschuß über das Gewicht des trockenen Papiers ist zu dem Wassergewicht hinzuzurechnen. Aus dem Gewicht und der Temperatur des Körpers e und dem Gewichte des geschmolzenen Eises berechnet man, wie viel Eis 1 Kgr. des Körpers e von 79° C. geschmolzen hätte, und dieses ist die specifische Wärme desselben. Wir haben vorausgesetzt, daß das Eis die Temperatur von 0° habe; davon muß man sich durch ein hineingehaltenes Thermometer überzeugen.

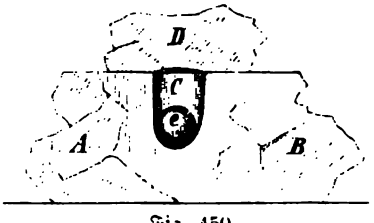


Fig. 450.

Hätte das Eis nicht 0°, sondern etwa — t'°, so könnte man das Eisstück so lange ins warme Zimmer bringen, bis es die Temperatur von 0° angenommen hätte. Da dies aber Zeit in Anspruch nähme, so wird man dies lieber in Rechnung ziehen. Bekanntlich schmilzt 1 Kgr. Wasser von 79°,25 C. 1 Kgr. Eis von 0°, und die Formel für die specifische Wärme eines Körpers, dessen Gewicht p Kgr. und Temperatur t° C. ist, wenn er q Kgr. Eis von 0° schmelzt,

$$c = \frac{79,25 \cdot q}{p\,t};$$

hat aber das Eis $-t^0$, so wird $1^{Kgr.}$ Wasser von 79^0, $25 + t'^0$ dazu gehören, um $1^{Kgr.}$ Eis zu schmelzen, wonach die Formel und Berechnung abzuändern ist.

Für Unterrichtszwecke wird dies vollkommen genügen. Eleganter freilich sieht der Versuch mit dem Calorimeter aus. Letzteres ist in (Fig. 451) dargestellt. Es besteht aus zwei in einander gesetzten Gefäßen aus Eisenblech, die im Horizontaldurchschnitt rund oder viereckig sein können, nach Unten aber kegel- oder pyramidenförmig sich verengen müssen. Zwischen den Gefäßen bleibt ein Zwischenraum frei; die Gefäße müssen daher durch Querstäbe an einander befestigt werden.

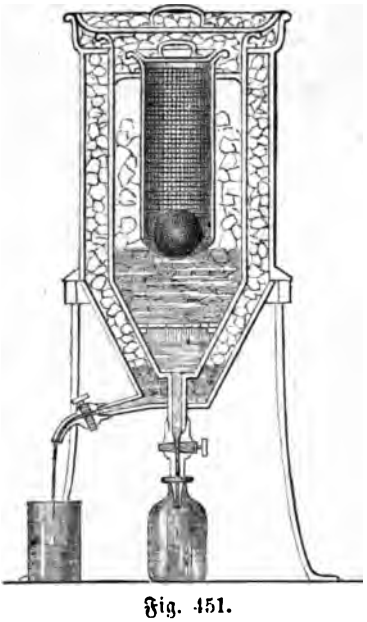


Fig. 451.

In das innere Gefäß ist dann noch ein Drahtkorb eingehängt, welcher dazu bestimmt ist, den auf seine specifische Wärme zu untersuchenden Körper aufzunehmen, der Zwischenraum zwischen dem Drahtkorb und dem inneren Gefäß wird mit Eisstücken ausgefüllt, eben so der Zwischenraum zwischen den beiden Blechgefäßen. Jeder dieser Räume hat einen besonderen Deckel, der Raum zwischen beiden Deckeln wird gleichfalls mit Eis angefüllt. Die äußere Eisschicht dient dazu, die Wärme der Umgebung von dem inneren Raume abzuhalten, damit das Eis hier nur durch die Wärme des in den Korb gelegten Körpers geschmolzen werde. Der innere Raum sowohl wie der äußere erhält unten ein Abzugsrohr mit Hahn, um das vom geschmolzenen Eise herrührende Wasser, jedes in einem besonderen Gefäße zu sammeln.

Wenn der Apparat so vorbereitet ist, bestimmt man das Gewicht des Körpers, welcher dem Versuche unterworfen werden soll, und erhitzt ihn zu einer genau bekannten Temperatur; dies geschieht am sichersten durch Eintauchen in eine erhitzte Flüssigkeit, wie schon beim vorigen Versuch gesagt wurde. Die Wahl der Flüssigkeit hängt von der Natur des Körpers ab; sie muß so beschaffen sein, daß der Körper sich nicht darin auflöst oder sonst verändert. Nachdem Gewicht und Temperatur des Körpers gefunden, bringt man ihn in den Drahtkorb, setzt den Deckel auf, füllt das Eis darüber und legt dann auch den äußeren Deckel auf. Man muß nun den Körper so lange in dem Drahtkorb lassen bis er selbst auf 0^0, die Temperatur des Eises, abgekühlt ist.

Dies kann man mit Sicherheit nur erfahren, wenn man den Apparat öffnet, ein Thermometer mit ihm in Berührung bringt. Ist der Körper auf 0° erkaltet, so öffnet man beide Hähne und läßt das Wasser ab, wägt dasjenige Wasser, welches von dem Eise des inneren Raumes herrührt und berechnet daraus nach der schon angeführten Formel die specifische Wärme des Körpers.

Einige Vorsichtsmaßregeln, die beim Versuche zu beobachten sind, mögen noch angeführt werden. Zuerst ist darauf zu sehen, daß das angewendete Eis nicht eine niedrigere Temperatur als 0° habe, weil sonst, ehe Eis geschmolzen würde, ein Theil der Wärme des eingelegten Körper dazu verwendet würde, das Eis auf 0° zu bringen. Wenn übrigens das Eis in einem Raume von einer höheren Temperatur als 0° gestanden hat, so wird es auch bald sich auf 0° erwärmen.

Nach dem Versuche wird zwischen den Eisstücken durch Adhäsion und Capillarität eine gewisse Menge Wasser zurückgehalten werden, das dann nicht abfließt. Dies macht das Resultat ungenau, die specifische Wärme des Körpers wird zu gering gefunden. Man sollte daher den Versuch zweimal hinter einander anstellen; so viel Wasser, als beim ersten Versuche zurückbleibt, wird auch beim zweiten wieder an dem Eise hangen bleiben; das wirklich abgeflossene Wasser ist dann der Quantität nach gerade so viel als der Körper bei seiner Abkühlung auf 0° schmelzt.

Um zu erfahren, ob während des Versuchs vom äußeren Eis durch die Einwirkung der äußeren Temperatur viel Eis geschmolzen wird, öffne man den Hahn der Abflußröhre vom äußeren Raume schon zu Anfang des Versuchs, damit man sieht, wie viel Wasser von da abfließt. Ist es so viel, daß zu befürchten steht, es entständen hohle Räume, durch welche die äußere Wärme auf das innere Eis wirken könnte, so muß man von Zeit zu Zeit Eis nachfüllen.

Die Versuche über die specifische Wärme der Gase erfordern complicirte und theure Apparate und nehmen viel Zeit in Anspruch. Wer nicht gerade wissenschaftliche Zwecke verfolgt, wird solche Arbeiten nicht vornehmen; die allgemeinen Gesichtspunkte darüber finden sich in den Lehrbüchern. Veränderungen der specifischen Wärme bei der Zusammendrückung und Ausdehnung der Körper lassen sich leicht durch Versuche nachweisen.

Das pneumatische Feuerzeug besteht aus einem am einen Ende verschlossenen Messingrohr AB (Fig. 452) von 8 mm. innerer Weite und einem aus auf einandergeschichteten Lederscheiben verfertigten Kolben nebst Kolbenstange mit dem Griff CD. Die Lederscheiben liegen zwischen zwei Messingplatten, wovon die obere fest mit der Kolbenstange verbunden ist, während die untere sich nach Bedürfniß mehr oder weniger weit auf die durchgehende Kolbenstange aufschrauben läßt, um den Kolben zum dichteren Anschließen an die Wandung des Rohrs zu bringen. Vor dem Gebrauche wird der von den Lederscheiben gebildete Cylindermantel etwas geölt, damit er auch bei dichtem Anschluß sich leicht

hin- und herbewegen lasse. An der Schlußplatte unterhalb des Lederkolbens muß noch eine Vorrichtung vorhanden sein, um ein Stück Zündschwamm daran zu befestigen. Zu dem Zwecke wird eine etwas gekrümmte stählerne (oder messingene) Feder mit ihrem einen Ende festgeschraubt, während das andere, etwas zugespitzte Ende gegen die Platte sich andrückt; unter diese Spitze klemmt man den Schwamm ein. Steckt man den Kolben in das Rohr und stößt ihn so schnell als möglich nach dem Boden hin, so entzündet sich der Schwamm. Um ihn brennend zu erhalten, muß man ihn auch schnell wieder herausziehen.

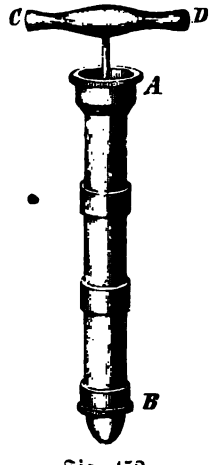


Fig. 452.

Der Raum unter der Glocke der Luftpumpe zeigt ein Sinken der Temperatur bei der Verdünnung, ein Steigen derselben bei der Verdichtung der Luft.

6. Verbreitung der Wärme.

a. Strahlung.

Es handelt sich zunächst darum, ein für Unterrichtsversuche zweckmäßiges Thermoskop zu wählen. Zu Gebote stehen: das Differentialthermometer von Leslie, das von Rumford und die Thermosäule. Für elementare Versuche, wobei es nicht auf sehr genaue Maßbestimmungen ankommt, dürften die ersteren beiden vor der Thermosäule den Vorzug haben, weil die ganze Zusammenstellung einfacher ist, daher die Einsicht in den Gang der Versuche erleichtert wird. Es kommt ja hierbei vorzüglich darauf an, daß der Lernende das, was ihm vorexperimentirt wird, in allen Theilen durchschaue und das durch das Experiment zu bestätigende Gesetz verstehe, was nie der Fall sein wird, wenn schon der Apparat vielfach zusammengesetzt ist. Wir werden daher zunächst die Versuche mit Anwendung eines Differentialthermometers beschreiben und nachdem die Thermosäule besonders behandeln.

Der Leslie'sche Würfel ABCD (Fig. 453) ist ein hohler Cubus aus Messingplatten von 1^{dm} Seite zusammengelöthet. Die Deckplatte erhält eine Durchbohrung von $1,^{cm}5$ Durchmesser, auf die man eine nach Oben schwach konisch sich erweiternde Hülse a auflöthet. Von den vier Seitenflächen ist eine gut polirt, in die andere ist eine große Zahl Ringe, die sich gegenseitig durchschneiden, eingedreht, so daß sie zerkratzt und mit Furchen bedeckt erscheint; die dritte ist entweder mit weißem Schreibpapier überklebt, oder mit Bleiweiß angestrichen; die vierte erhält einen schwarzen Ueberzug von Ruß. Der Rußüberzug muß aber ein mattes Schwarz darstellen, man darf daher ihn nicht mit Firniß auftragen. Um ihn schön gleichmäßig zu bekommen gieße man in eine kleine gläserne Lampe oder in eine ähnliche Vorrichtung von Blech etwas Terpentinöl, setze einen baumwollenen Docht ein,

zünde diesen an und bringe noch einen Schornstein, aus einem 4 cm. weiten eisernen Blechrohr bestehend, an. Hält man die zu berußende Fläche in einiger Höhe über den Schornstein, so legt sich das Schwarz ganz gleichmäßig an, wenn man nur alle Theile dem Rauchstrome aussetzt. In den so vorbereiteten Würfel füllt man heißes Wasser und setzt ein Thermometer, das durch einen in die Oeffnung gesetzten Kork durchgesteckt wird, in die Hülse a ein. Um dem Wasserdampf wenigstens einen Ausweg zu gestatten schneide man seitwärts in den Kork einige Kerbe ein. Der Würfel wird nun auf eine Lampe gesetzt, die nur mit kleiner Flamme brennt, da sie blos den Zweck hat, das Wasser auf der erhöhten Temperatur, die man ihm gegeben, zu erhalten. Man muß daher während des Versuches fortwährend das Thermometer beobachten und die Flamme bald nähern, bald entfernen, je nachdem das Thermometer fällt oder steigt.

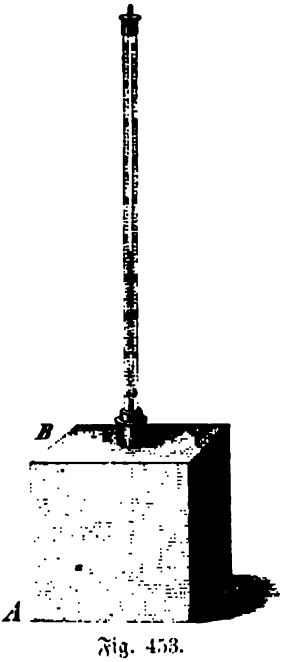


Fig. 453.

Um die verschiedene Strahlung der vier Seitenflächen zu beobachten, setze man nun, während der Würfel auf der Lampe steht und das Wasser immer dieselbe Temperatur behält, ein Differentialthermometer in der Entfernung von $1/2$ m. davon in gleicher Höhe mit dem Würfel hin und drehe letzteren so, daß die der einen Kugel zugekehrte Fläche senkrecht auf der Verbindungslinie der Flächen beider steht; ehe jedoch die Wärme vom Würfel auf die Thermometerkugel treffen kann, beobachte man den Stand der Flüssigkeit (resp. des Tropfens) im Differentialthermometer. Nun lasse man die erste Fläche 5 Minuten lang auf das Thermometer strahlen, beobachte wieder den Stand desselben und schreibe dies auf. Man entferne jetzt das Thermometer aus dem Bereich der Wärmestrahlen des Würfels und lasse es wieder auf den ursprünglichen Stand (auf Null) zurückkehren, mache dann denselben Versuch mit einer zweiten, dann mit der dritten und auch mit der vierten Fläche, indem man am Schlusse jedes Versuches das Resultat aufschreibt.

Man kann zu diesem Versuch auch einen Hohlspiegel gebrauchen; die Wirkung auf das Thermometer wird dann etwas verstärkt. Wenn man aber den Würfel in der Spiegelachse aufstellte, so würde er einen großen Theil der vom Spiegel reflectirten Strahlen selbst wieder auffangen und vom Differentialthermometer zurückhalten. Man stelle daher den Würfel außerhalb der Brennweite und außerhalb der Achse

auf, umhülle die drei dem Spiegel nicht zugekehrten Seitenflächen mit einem Stoffe, der für die strahlende Wärme undurchdringlich ist, und stelle die geschwärzte Kugel des Differentialthermometers auf der entgegengesetzten Seite der Achse auf, wo von einem leuchtenden Gegenstande, der sich an der Stelle des Würfels befände, das Luftbild entstehen würde.

Mit zwei ganz gleichen Hohlspiegeln lassen sich noch verschiedene Versuche über strahlende Wärme anstellen. Ich gebrauche hierzu dieselben Spiegel wie zu den akustischen Versuchen; sie sind aus Messingblech getrieben, haben 40 cm. Halbmesser und 53 cm. Oeffnung. Um sie auch als Brennspiegel gebrauchen zu können, müssen sie an ihrem Stativ so befestigt werden, daß man der Oeffnung, resp. der Achse verschiedene

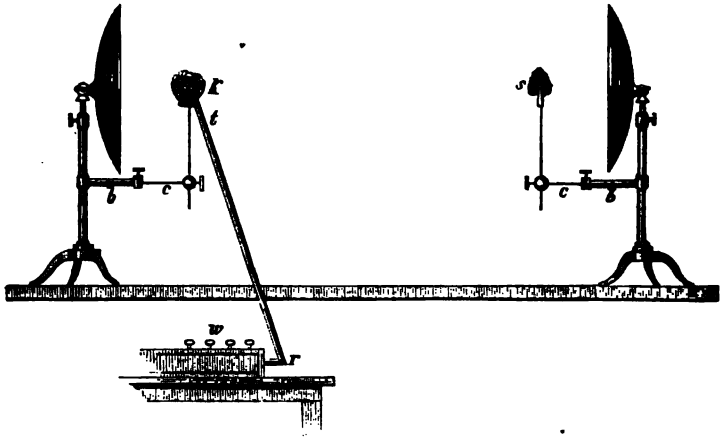


Fig. 454.

Richtungen geben kann; sie können dann bei jedem beliebigen Stand der Sonne auf diese gerichtet werden. Das auf der Rückseite angebrachte Gelenk wird aus (Fig. 454) deutlich werden. Zu unseren jetzigen Strahlungsversuchen wird in jedes Stativ ein horizontaler Stab b eingesetzt, in den ein zweiter c eingeschoben wird, der wenn er ganz hereingesteckt worden, gerade so weit vor der Ebene der Spiegelöffnung als die Brennweite beträgt, durchbohrt und mit einer Schraube versehen ist; die Bohrung ist bestimmt, Stäbe, die bis zur Höhe der Spiegelachse reichen, aufzunehmen, um auf derselben verschiedene Gegenstände anzubringen, vor dem einen Spiegel die, welche Wärmestrahlen aussenden, vor dem anderen solche, welche sie aufnehmen. Vor den anzustellenden Versuchen müssen die Spiegel auf der schon in der Akustik und Optik erwähnten, auf einen langen Tisch gezeichneten geraden Linie aufgestellt und so gerichtet werden, daß die Achsen beider Spiegel genau in eine gerade Linie fallen. Eine Abweichung hiervon in der

Aufstellung würde stets ein Mißlingen der Versuche zur Folge haben. Es müssen zu diesem Zwecke die Mittelpunkte der Spiegelflächen (in der Optik heißen sie optische Mittelpunkte) in gleicher Höhe und so liegen, daß ihre Projectionen in die Richtungslinie auf dem Tische fallen; ferner müssen die Oeffnungsebenen vertical und ihre Projectionen auf den Tisch zur Richtungslinie senkrecht stehen. Man erreicht dies auch wohl durch den bekannten optischen Versuch, wobei man in den Brennpunkt des einen Spiegels ein Licht setzt und die Spiegel so lange richtet, bis das Bild in den Brennpunkt des anderen Spiegels fällt. Man gelangt aber auch dahin, wenn man die kreisförmigen Spiegelränder einlothet, und zwar, um ihre verticale Stellung zu erhalten, den obersten und untersten Punkt, und um ihnen die verlangte Lage zur Richtungslinie zu geben, die beiden äußersten Punkte links und rechts, um zu erfahren, ob die drei Projectionspunkte in eine gerade, zur Richtungslinie senkrechte Linie fallen. Die Entfernung der Spiegel von einander nehme man Anfangs nicht zu groß, höchstens 2—3 m.; sind die Versuche in diesem Abstand gelungen, so wird man sie auch bei 5 und 6 m. zu Stande bringen.

Fig. 455.

Einen Versuch stellt die (Fig. 454) schon dar; in dem einen Brennpunkte ist ein Korb k, mit glühenden Kohlen angefüllt, angebracht, in dem des anderen Spiegels eine Zange, welche ein Stück Zündschwamm s hält. Um die Kohlen immer gut im Brande zu halten leite ich von der Windlade w des doppelten Blasebalgs das Rohr r t gegen die Kohlen und richte so einen continuirlichen Luftstrom darauf. Der Schwamm wird sich bald entzünden. — In den Brennpunkt des einen Spiegels bringe man mittelst des Halters (Fig. 455) ein brennendes Licht, in den des anderen die geschwärzte Kugel des Differentialthermometers, so wird man bald das Zurückweichen der Flüssigkeit in letzterem bemerken. — Bringt man in den einen Brennpunkt ein Stück Eis, in den anderen die geschwärzte Kugel des Differentialthermometers, so steigt die Flüssigkeit auf dieser Seite des Instruments. Die Kugel erhält vom Eise weniger Wärme als sie an dasselbe abgiebt. Auch die oben beschriebenen Versuche mit dem Leslie'schen Würfel kann man mit den beiden Spiegeln anstellen, man muß aber die drei Flächen, welche nicht zur Wirkung kommen sollen, umhüllen; die Flamme, welche das Wasser auf constanter Temperatur erhalten soll, wird in ein Gehäuse wie (Fig. 456) eingesetzt.

Viel genauer als mit dem Differentialthermometer läßt sich die strahlende Wärme mit der Thermosäule messen. Hierzu sind verschiedene einzelne Instrumente nöthig.

1. Die Thermosäule (Fig. 457). Ihre innere Construction werden wir bei der Thermoelektricität beschreiben. Im Allgemeinen be-

steht sie aus einer Anzahl zusammengelötheter Wismuth- und Antimonstreifchen, die mit abwechselnder Folge der beiden Metalle mit ihren Enden so zusammengelöthet sind, daß die geraden Löthstellen nach einer, die ungeraden nach der entgegengesetzten Seite zu liegen kommen; abcd ist die äußere Fläche der einen Hälfte der Löthstellen. Dieser Körper wird dann in eine Messinghülse de gekittet. Von dem ersten Antimonstreifen und dem letzten Wismuthstreifen geht ein innig damit verbundener Kupferdraht nach je einer Drahtklemme x,y ab; in diese Klemmen lassen sich dann wieder Kupferdrähte zur Weiterführung des in den verbundenen Antimon- und Wismuthelementen entstandenen Thermostroms einklemmen. Die Löthstellen der Kette sind mit Kienruß

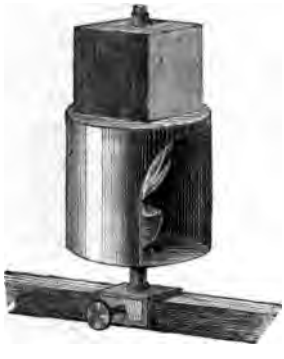


Fig. 456.

Fig. 457.

überdeckt, weil dieser die größte Wärmeabsorption hat. An der Hülse de ist der Stab f angelöthet, womit das Instrument auf ein Stativ gesetzt und durch die Schraube festgeklemmt wird.

2. Das Galvanometer, in Verbindung mit der Thermosäule gewöhnlich Thermomultiplicator genannt (Fig. 458), leitet den Strom der Thermosäule durch mehrere Windungen eines isolirten (mit Seide umsponnenen) Kupferdrahtes um eine an einem einfachen Coconfaden hängende, also leichtbewegliche Magnetnadel, welche durch die Größe der durch den Strom bewirkten Ablenkungen das Maß für die auf die eine Seite der Löthstellen der Thermosäule wirkende strahlende Wärme abgiebt. Das Galvanometer wird beim Electromagnetismus weiter im Einzelnen beschrieben werden.

3. Die Wärmequelle. Melloni wendete bei seinen Versuchen über Wärmestrahlung folgende vier Wärmequellen an:

a) den Leslieschen Würfel mit Wasser von 100°C.; auf dieser Temperatur wurde er während der Versuche constant erhalten; um die Wärme der Flamme von allen übrigen Theilen des Apparates zurückzuhalten, bedient Melloni sich des Gehäuses (Fig. 459) aus schwarzem Eisenblech; die Umhüllung des Würfels selbst ist hier nicht nöthig;

b) ein mit Kienruß geschwärztes Kupferblech, das durch eine Spiritusflamme bis 400° C. erhitzt wird. Die Form des Blechs ist aus (Fig. 460) zu ersehen;

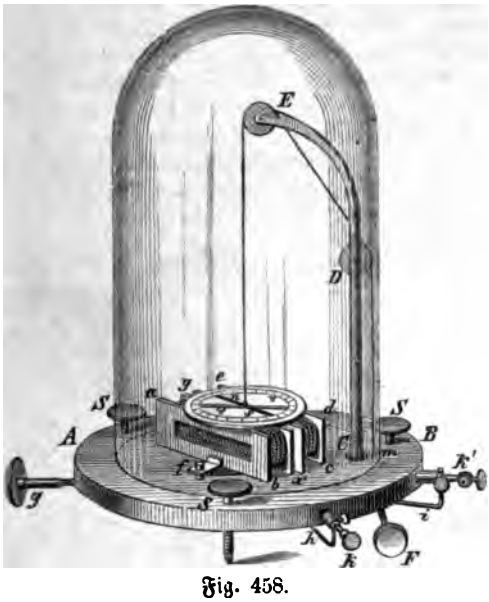


Fig. 458.

Fig. 459.

Fig. 460.

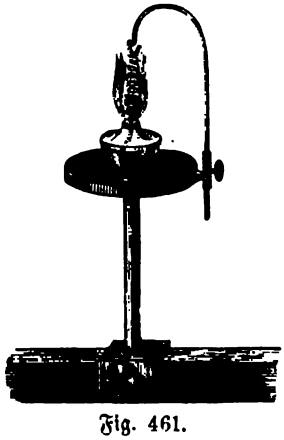


Fig. 461.

c) eine in einer Spiritusflamme erhitzte Spirale von Platindraht, die 700° C. annimmt (Fig. 461);

d) die Locatelli'sche Lampe, von der (Fig. 462) einen Durch-

schnitt giebt; es ist dies eine Oellampe mit constantem Oelstand und kleinem, quadratischem Docht d; zu manchen Versuchen läßt sich noch ein Reflector a b anbringen, d. h. ein kleiner Hohlspiegel, in dessen Brennpunkt die Flamme zu stehen kommt; sie liefert eine Hitze von 1000°C.;

4. verschiedene Körper, auf welche man die Wärmestrahlen fallen lassen will: ebene Platten aus verschiedenen Stoffen, durch welche die Wärme hindurchgeht, theils parallel, theils prismatisch geschliffene, so u. a. auch ein Steinsalzprisma;

5. verschiedene undurchdringbare Schirme, Metallschirme, Schirme mit größeren und kleineren Oeffnungen, alle auf Stative gesetzt, ein Tischchen auf Stativ, worauf dem Versuche zu unterwerfende Körper aufgesetzt werden können.

Diese verschiedenen Apparatentheile werden nun zum Versuche in folgender Weise zusammengesetzt. Auf einen ebenen und festen Tisch wird zunächst die gläserne Richtplatte A B (Fig. 463), ähnlich der auf S. 113 beschriebenen, gesetzt und mittelst der Stellschrauben horizontal gestellt; auf diese setzt man eine rechtwinklige, 1 m. lange, in Millimeter getheilte Messingschiene M N von 2 cm. Höhe und 1 cm. Breite auf zwei fest damit verbundenen Füßen a, a. Statt die Richtplatte anzuwenden kann man auch die Füße der Schiene mit Stellschrauben versehen, wo dann aber, der Sicherheit des Standes wegen, jeder Fuß Arme nach beiden Seiten der Schiene, jeder mit einer Schraube versehen, haben muß. Auf diese Schiene werden die verschiedenen bei den Strahlungsversuchen zu gebrauchenden Apparate mit ihren Stativen aufgeschraubt. Die Stative haben alle einen gabelförmigen Fuß mit einer seitlichen Druckschraube. Wegen der öfter vorkommenden Wechselung der Apparate würde hier eine Prismenstange mit geschlossenen Hülsen nicht so bequem sein wie Stative mit Gabelung.

Die Schiene M N nimmt bei C die Wärmequelle auf; man hat in der Figur die Locatelli'sche Lampe gewählt; auf das Stativ D wird ein Metallschirm gesetzt, dazu bestimmt, die Einwirkung der Wärmequelle auf die Thermosäule und die übrigen Apparate so lange zu verhindern, bis der Versuch beginnen soll, wo der Schirm dann mittelst des Charniers seitwärts geneigt wird, wie die Figur zeigt. E trägt ein Tischchen, auf dem Platten, Prismen ꝛc. mittelst eines an ihrer Fassung angebrachten Zapfens, der sich in der Tischplatte leicht drehen läßt, aufgestellt werden. F ist ein Metallschirm mit einer kreisförmigen Oeffnung und einer Metallscheibe mit größeren und kleineren Oeffnungen; letztere ist durch eine Schraube in ihrem Mittelpunkt an einen excentrischen Punkt des größeren Schirms befestigt; dreht man die kleinere Scheibe um die Schraube herum, so kommen nach und nach alle ihre Oeffnungen vor die des Schirms zu stehen. Hierdurch wird es möglich, Strahlenbündel von bestimmter Größe zur Wirkung kommen zu lassen. Auf dem Stativ G steht die Thermosäule, welche durch Drähte mit dem seitwärts stehenden Galvanometer H in Verbindung gebracht ist. An der

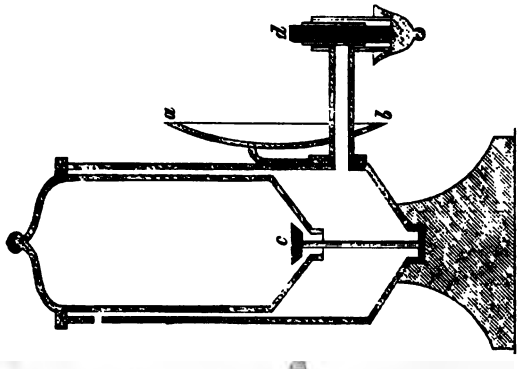


Fig. 462.

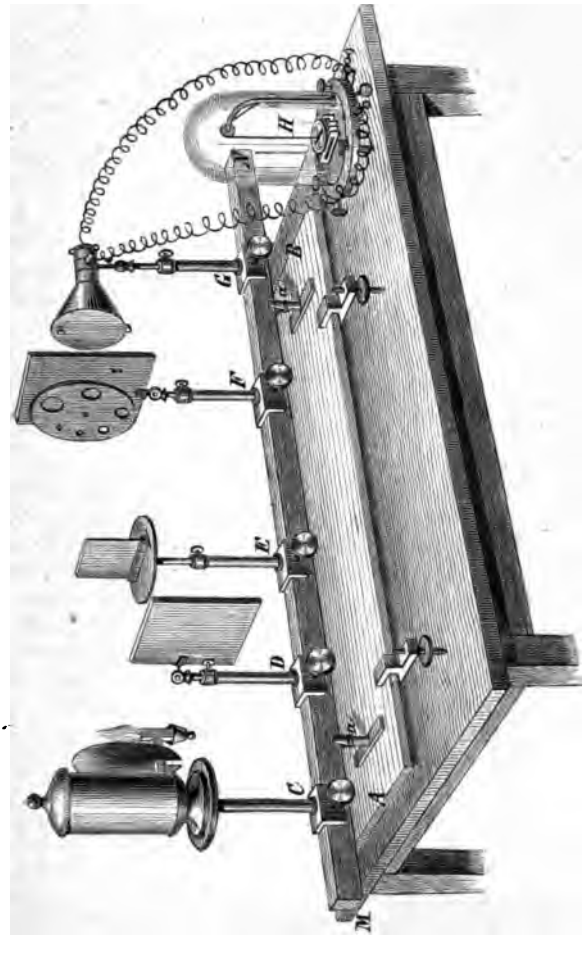


Fig. 463.

der Wärmequelle zugekehrten Seite ist die Thermosäule mit einem Hohlkegel von Messing versehen, um auch Strahlenbündel aufzufangen, deren Durchmesser größer ist als der der Thermosäule. Die weitere Oeffnung des Kegels hat einen Deckel, wodurch den Wärmestrahlen der Eintritt in den Kegel und zur Säule verwehrt werden kann. Soll die Wirkung der Strahlen beginnen, so schlägt man den Deckel zurück. Die andere Seite der Thermosäule bleibt gewöhnlich mit einem Deckel verschlossen; er wird wie der Deckel über dem Objectiv eines Fernrohrs aufgeschoben.

Für die Fälle, wo die parallel mit der Schiene MN auffallenden Wärmestrahlen durch Reflexion oder Brechung seitwärts abgelenkt werden, muß man die Thermosäule so aufstellen, daß sie diese abgelenkten Strahlen aufnehmen kann, also seitwärts neben der Schiene. (Fig. 464) stellt den für diesen Zweck abgeänderten Apparat, mit Weglassung aller übrigen Theile, dar; MN ist ein Theil der bisher, eben so bezeichneten, getheilten Schiene; F ist ein am Fuße mit einem getheilten Kreis versehenes Stativ, ebenso, wie alle übrigen Theile, auf der Schiene MN befestigt. Der Fuß von F trägt über dem Kreise eine kürzere, um den Ständer F drehbare Schiene OP, auf welcher bei O die Thermosäule T auf die gewöhnliche Weise angebracht ist. Das Stativ F trägt eine kreisförmige Platte K, die am Rande ebenfalls eine Theilung hat. Beide Theilungen sind übereinstimmend, die Projectionen ihrer Mittelpunkte fallen in denselben Punkt der Schiene MN, die Nullpunkte beider Theilungen in die durch die Längenachse der Schiene MN gelegte Verticalebene. Diejenigen Körper, welche als reflectirende oder brechende auf die Kreisscheibe K gesetzt werden, müssen im Centrum fest mit der Scheibe verbunden sein, sich drehen, und auf bestimmte Punkte der Theilung einstellen lassen, z. B. so, daß ihre Flächen zur Richtung des nach dem Nullpunkt gehenden Radius senkrecht stehen. Die Schiene OP ist parallel mit der Achse der Thermosäule; der Winkel, welchen OP mit MN macht, der sich vom

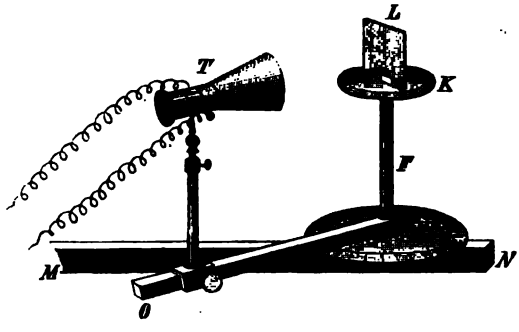


Fig. 464.

unteren Kreis sofort ablesen läßt, ist also auch der Winkel der Thermosäule mit der Achse von MN. Für reflectirte Strahlen wird die Schiene OP nach der Seite der Wärmequelle, für gebrochene abwärts von dieser gestellt werden müssen. Unter der auf die Platte K aufgesetzten Platte L hat man sich beispielsweise eine reflectirende Fläche zu denken.

Die im Vorigen beschriebenen Apparate reichen aus, um alle bis jetzt bekannten Gesetze über Wärmestrahlung experimentel nachzuweisen. Für die Versuche mit der Thermosäule ist nun aber noch erforderlich, die Relation zu kennen, welche zwischen der Stärke des thermoelektrischen Stromes und der Ablenkung der Magnetnadel statt findet. Melloni hat diesen Gegenstand auf sehr sinnreiche Weise untersucht und festgestellt, daß bis 20^0 Ablenkung die Bogen, welche die Galvanometernadel beschreibt, den Stromstärken, also den Wärmewirkungen proportinal sind, daß aber bei größeren Ablenkungen, welche 20^0 überschreiten, die Stromstärken schneller zunehmen als die Ablenkungen der Nadel, so daß z. B. die Stromstärken 20 und 41,8 Ablenkungen von resp. 20^0 und 33^0 bewirken.

Für größere Ablenkungen machte Melloni sich eine Tabelle, aus der für jede Ablenkung die Stromstärke sofort zu entnehmen war. Um mit diesem Apparate das Gesetz der Entfernungen für strahlende Wärme ($I : i = e^2 : E^2$) zu prüfen, läßt man dieselbe Quelle aus zwei verschiedenen Entfernungen E und e durch das Diaphragma in einem dazwischen gestellten Schirm auf die Thermosäule wirken, liest die Ablenkungen der Nadel ab und, weil, wenn das Gesetz richtig sein soll, $I.E^2 = i.e^2$ sein muß, berechnet diese Producte; man wird finden, daß dies bis auf kleine Abweichungen stets der Fall ist.

Man kann sich von der Richtigkeit dieses Gesetzes noch auf andere Weise überzeugen. Melloni bediente sich hiezu des Leslie'schen Würfels und eines Differentialthermometers. Er verwendete hiezu zwei Würfel, deren Seitenkanten sich wie 1 : 2, die Seitenflächen also wie 1 : 4 verhielten; an jedem Würfel wurde eine Seitenfläche mit Kienruß geschwärzt, die Würfel mit kochendem Wasser gefüllt und durch untergesetzte Spirituslampen auf dieser Temperatur erhalten. Zwischen die Kugeln des Differentialthermometers wurde ein Schirm gesetzt, um zu verhindern, daß die der einen Kugel zugeführte Wärme auch zur anderen gelange. Nun wurde vor jeder Kugel einer der Würfel aufgestellt, mit der geschwärzten Fläche der betreffenden Kugel zugewendet, der kleinere Würfel in 4, der größere in $8^{dm.}$ Abstand. Hinderte man die Wirkung des einen Würfels auf die Kugel durch einen dazwischen gesetzten Metallschirm, so trat sofort Bewegung der Flüssigkeit im Thermometer ein; ließ man aber beide Würfel gleichzeitig (von entgegengesetzten Seiten) auf das Thermometer wirken, so blieb die Flüssigkeit stehen, ein Beweis, daß die vierfache Wärmequelle in der doppelten Entfernung gerade so stark wirkt als die einfache in der einfachen Entfernung, was dem Gesetze entspricht.

Daß die Wärmestrahlen eben so, wie die Lichtstrahlen reflectirt.

werden, zeigen die Versuche mit den Hohlspiegeln, da parallel mit der Achse auffallende Strahlen nach dem Brennpunkte reflectirt werden. Man kann aber das Reflexionsgesetz für Wärmestrahlen auch mittelst des Mellonischen Apparates nachweisen. Zu diesem Zwecke bedient man sich der Zusammenstellung nach (Fig. 464). Auf das Tischchen K wird ein Spiegel gesetzt; der Spiegel wird senkrecht gegen die Schiene OP gestellt; den Winkel von 90° erkennt man an der oberen Theilung; es fällt dabei die Schiene OP parallel zur Schiene MN. Dreht man dann die Schiene OP um einen Winkel a nach der einen Seite, so macht auch die Schiene MN diesen Winkel a mit der auf den Spiegel errichteten Senkrechten, d. h. mit dem Einfallsloth der von der Wärmequelle kommenden Strahlen; a ist demnach der Einfallswinkel dieser Strahlen. Da die Thermosäule auf der Schiene OP steht und mit der Achse von OP parallel ist, so braucht man nur, um die reflectirten Strahlen zu bekommen, die Schiene OP so lange zu drehen, bis die Galvanometernadel den größten Ausschlag macht. Liest man dann an der unteren Theilscheibe den Winkel ab, den die Schiene vom Nullpunkt aus zurückgelegt hat, so ist dieses der Reflexionswinkel. Die Versuche geben ihn dem Einfallswinkel gleich und bestätigen sonach das für das Licht geltende Reflexionsgesetz auch für die Wärme.

Um zu beweisen, daß die Wärmestrahlen eben so, wie die Lichtstrahlen, gebrochen werden und das Snellius'sche Gesetz befolgen, bedient man sich desselben Apparates (Fig. 464) und wendet ein Steinsalzprisma mit einem brechenden Winkel von 60° an, stellt aber dieses so auf, daß die Strahlen die geringste Ablenkung erfahren, d. h. daß ihr Einfallswinkel auf der ersten brechenden Fläche gleich dem Brechungswinkel auf der letzten wird. Bei dem entsprechenden Lichtversuch wird man durch das Gesicht unterstützt; da man die Wärmestrahlen nicht sehen kann, so kann man nur durch wiederholtes Probiren zum Ziele kommen.

Nachdem wir die Apparate für Wärmestrahlung ausführlich beschrieben und ihre Verwendung zu einigen der damit anzustellenden Versuche gezeigt haben, wird es nicht nöthig sein, Weiteres über die übrigen, von Melloni und Anderen gemachten Versuche zu sagen; die Versuche wird man in den Lehrbüchern wenigstens angeführt finden, ihre Ausführung dürfte nach dem hier Mitgetheilten keine Schwierigkeit haben.

b. Leitung.

Zur wissenschaftlichen Feststellung eines Gesetzes über die Wärmeleitung in festen Körpern, haben verschiedene Physiker sinnreich ausgedachte Versuche angestellt, die jedoch für unseren Zweck nicht anwendbar sind; wir müssen uns hier auf die älteren Versuche von Ingenhouß beschränken, welche eine Anschauung von der ungleichen Leitungsfähigkeit verschiedener fester Körper zu geben bestimmt sind, ohne Anspruch darauf zu machen, bestimmte Zahlverhältnisse festsetzen zu wollen.

In eine Seitenwand eines Blechkastens (Fig. 465) sind neben einander in einer Reihe mehrere gleich große Löcher gebohrt; in jedes ist

ein kurzes Blechröhrchen nach Außen hin eingelöthet. In diese Röhrchen werden eben so viele gleich dicke und gleich lange Stäbe von verschiedenen Metallen eingefügt, ein Stab kann auch aus Holz bestehen. Die Figur giebt den Apparat im Grundriß. Nachdem die Stäbchen so in die Röhrchen eingepaßt sind, daß von allen eine gleiche Länge nach Außen vorragt, steckt man sie in ein Gefäß mit geschmolzenem Wachs, so daß sie sich alle an den nach Außen vorstehenden Enden mit einer Wachsschicht überziehen, läßt das Wachs erkalten und gießt dann kochendes, oder doch heißes Wasser in den Kasten; so wird die Wärme des heißen Wassers durch das Metall der Stäbe auch den äußeren Theilen derselben mitgetheilt, ihnen zugeleitet werden; das Wachs wird auf ihrer Oberfläche schmelzen, aber, je nach der Natur der einzelnen Stoffe, bis zu sehr ungleichen Weiten, und darnach wird man das Leitungsvermögen der angewendeten Stoffe zu beurtheilen haben.

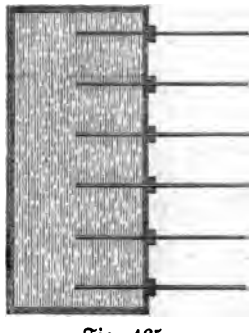


Fig. 465.

Um das schlechte Leitungsvermögen der tropfbaren Flüssigkeiten zu zeigen, verschaffe man sich ein cylindrisches Gefäß von Blech (Fig. 466) durch dessen Seitenwand ein Loch gebohrt ist, das man mit einer kleinen

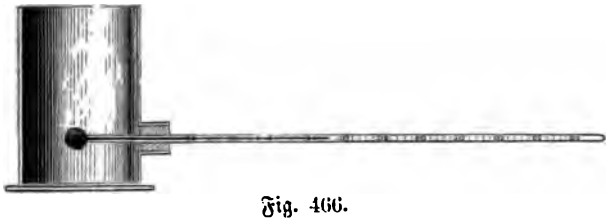


Fig. 466.

Metallhülse versehen hat, so daß man mittelst eines Korkes ein Thermometer horizontal in das Gefäß einsetzen kann; die Kugel des Thermometers muß gerade bis in die Mitte des Gefäßes eingeschoben und etwa 4 — 6 cm. vom oberen Rand abstehen. Man gieße nun Wasser ins Gefäß und auf das Wasser eine Schicht Alkohol oder Aether, beobachte den Stand des Thermometers und zünde die brennbare Flüssigkeitsschicht an, lasse sie ruhig zu Ende brennen und beobachte dann wieder das Thermometer; man wird finden, daß es sehr wenig, höchstens um einen halben Grad, gestiegen ist. Damit die Flüssigkeit gut brenne, muß das Gefäß so voll Wasser gegossen werden, daß die Alkohol- oder Aetherschicht ganz nahe an den Gefäßrand reicht, weil sonst die Luft das Verbrennen nicht unterhalten kann. Wenn die letzten Portionen nicht mehr gut brennen wollen, kann man mit einem Löthrohr Luft über den Gefäßrand hineinblasen.

Auf dem Boden eines Probirröhrchens befestige man ein Stück Eis, indem man etwa ein Stäbchen von Holz oder einen Metalldraht dicht darüber zwischen den Wänden des Glases einklemmt, in Ermangelung von Eis kann man auch etwas Wachs oder Talg dazu verwenden, gieße etwas kaltes Wasser darauf und erhitze das Glas oben in der Gegend der Wasseroberfläche; dieses geschieht in der Weise, daß man das Gläschen in die Korkklemme eines Retortenhalters steckt und mit der Spiritusflamme erwärmt, oder eine Schicht Aether aufgießt und anzündet. Beim Erhitzen durch die Spiritusflamme wird das Röhrchen natürlich in schiefer Lage gehalten. Der schmelzbare Körper auf dem Boden schmilzt nicht.

Ueber die Strömung tropfbarer Flüssigkeiten stellt man einen Versuch an, indem man in einen Kolben (Fig. 467) Wasser füllt, dem

Fig. 467.

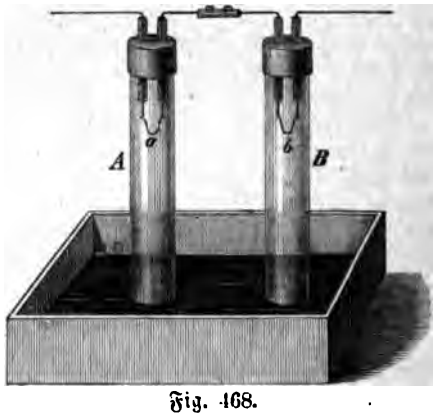


Fig. 468.

etwas Kreidepulver beigemengt worden, und das Gefäß von Unten erhitzt. Man sieht, daß das Wasser in der Mitte, wo die Flamme besonders wirkt, in die Höhe steigt und am Rande wieder zu Boden fällt. Erkältet man das Wasser von Oben, indem man Eis auflegt, so entsteht ebenfalls Strömung; es entsteht aber keine Strömung im Wasser, wenn man es von Unten erkältet oder von Oben erwärmt.

Ueber die Wärmeleitung in Gasen dürfte man etwa den von Grove angegebenen elektrischen Versuch am leichtesten machen können.

Von zwei Gläsern A, B (Fig. 468) wird das eine mit athmosphärischer Luft, das andere mit Wasserstoffgas gefüllt; die Gase werden durch Quecksilber gesperrt. Durch die Gase wird derselbe elektrische Strom geführt und in den Gasen durch ganz gleiche Platindrähte a, b geleitet. Zur Isolirung führt man die Drähte in Glasröhrchen durch die Decken der Gläser. Der Versuch zeigt, daß der Draht im Wasserstoff lange nicht so stark glüht als in der Luft; der Wasserstoff leitet also die Wärme besser ab. Statt Luft kann man auch Kohlensäure oder jedes andere Gas verwenden.

XIII. Magnetismus.

1. Magnete.

Um die magnetischen Erscheinungen darzustellen bedarf man zweier gerader Stabmagnete von etwa 30 cm. Länge, 1,6 cm. Breite und 0,5 cm. Dicke von gutem Gußstahl; sie müssen vor dem Magnetisiren gehärtet und bis zur strohgelben Farbe angelassen sein. Die meisten Lehrbücher wollen sie blau angelassen wissen; dann wird aber der Stahl zu weich und hält keinen hohen Grad von Magnetismus fest; es ist dies häufig der Grund der geringen Stärke der Magnete. Das Anfertigen guter Stahlmagnete ist nicht Jedermanns Sache, namentlich verstehen sich nicht alle Mechaniker darauf, und man muß sich auch hier wieder an solche wenden, welche diesen Zweig zu ihrem besonderen Geschäft gemacht haben. Bei der Aufbewahrung werden die geraden Stäbe mit zwei gleich langen, weichen Eisenstäbchen zu einem Rechteck geformt, so daß die ungleichnamigen Pole nach derselben Richtung hin zu liegen kommen, wie (Fig. 469); in dieser Lage werden sie in einem Etui aufbewahrt.

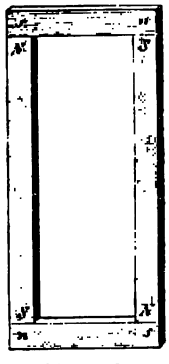


Fig. 469.

Außer den geraden Magnetstäben muß man noch zwei ganz gleiche hufeisenförmige Lamellen haben. Werden sie zusammen aufbewahrt, so legt man sie mit den entgegengesetzten Polen an einander in ein Etui; bleiben sie einzeln, so legt man an jeden einen Anker (Fig. 470). Solche Anker müssen aber eine gewölbte cylindrische Fläche haben, womit sie an die Polflächen des Magnets*) angelegt werden, wie a b (Fig. 471); die Krümmung muß aber sehr flach sein. Man bemerkt nämlich, daß, wenn der mit Gewichten beschwerte Anker mit ebener Berührungsfläche an die Pole eines Hufeisenmagnets angelegt wird, er sofort sich so wendet, daß er nur in einer Kante hängt, wo dann die übrigen Theile aus der magnetischen Anziehungssphäre herausfallen, die anziehende Kraft also vermindert wird: dies wird durch die gekrümmte Ankerfläche vermieden. Der Anker wird durchbohrt, in die Bohrung ein

Fig. 470.

Fig. 471.

*) Ich declinire das Wort „Magnet" im Singular stark, im Plural schwach; dieser Regel folgen viele Fremdwörter.

starker Haken eingelegt, an welchen Gewichte gehängt werden; oder man hängt eine Schale in den Haken und legt die Gewichte auf diese. Wenn man durch vorangegangene Versuche schon ungefähr weiß, wie viel der Magnet tragen kann, so lege man etwas weniger als dieses Gewicht auf die Schale und vermehre es durch kleine Zugaben ganz allmählig.

Ein magnetisches Magazin ist eine Verbindung mehrerer gerader Magnetstäbe, die aber nur eine geringe Dicke haben, deswegen Lamellen genannt werden. Diese Lamellen sind entweder alle gleich lang und werden dann einfach mit ihren gleichnamigen Polen aufeinander gelegt; oder ein Stab ist länger als alle übrigen, an beide Seiten dieses einen werden andere gelegt, die 2 cm. kürzer sind, so daß der erste an jedem Ende um 1 cm. vor den übrigen vorragt. Auf diese kommen wieder andere, die etwas kürzer sind als die vorigen (Fig. 472). Ueber jedes Ende wird ein Eisenkörper gelegt, welcher die Stäbe auf eine kurze Strecke in sich aufnimmt und der nach Außen wieder zwei vorstehende Enden a, b von starkem Eisen hat. An diesen sind dann die Pole des ganzen Magazins zu finden. Bei größeren Magazinen werden die Stäbe nicht nur über, sondern neben einander gelegt, so daß auch nach diesen Seiten hin die Enden terrassenförmig

Fig. 472.

abfallen. Magazine werden auch in gleicher Weise aus hufeisenförmigen Lamellen gebildet, die blos über einander gelegt werden, so daß die mittelste Lamelle an beiden Polen über die anderen vorragt; auch hier werden mit den Polenden Eisenstücke verbunden, welche den gesammten Magnetismus der Lamellen in sich vereinigen und so die Pole bilden.

Daß das Anlegen eines Ankers aus weichem Eisen sehr viel zur Vergrößerung der Tragkraft eines Magnets beiträgt, kann man durch einen Versuch beweisen, wenn man erst die Tragkraft mittelst eines gewöhnlichen eisernen Ankers bestimmt, dann einen eisernen Anker anfertigen läßt, der aus zwei Eisenstücken besteht, zwischen welche ein Stück eines nicht magnetischen Metalls (Messing) durch Löthung so eingesetzt ist, daß das Eisen auf die Pole des Magnets, das Messing auf den Zwischenraum zwischen den Polen trifft, wenn man den Anker an den Magnet legt. Mit Anwendung dieses zusammengesetzten Ankers ist die Tragkraft viel geringer.

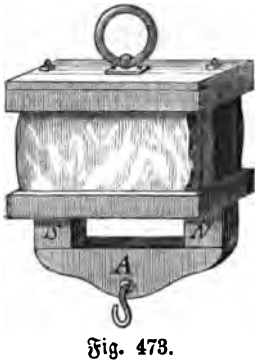


Fig. 473.

Natürliche Magnete waren bisher schwer zu bekommen: deswegen ist dann bei

Ankäufen mancher Betrug verübt worden, indem künstliche Compositionen, täuschend nachgemacht, für natürliche Magnete ausgegeben wurden. In neuester Zeit hat man in Lappland bedeutende Vorräthe von Metallen, darunter denn auch viele und große natürliche Magnete gefunden, so daß, wenn dieser Fund erst bergmännisch bearbeitet wird, die natürlichen Magnete nicht mehr selten sein werden.

Da die natürlichen Magnete ihre Pole nicht in einer geeigneten Lage haben, um sie leicht beide gleichzeitig zum Tragen einer Last benutzen zu können, so legt man größere Eisenmassen an die Pole, verbindet sie durch eiserne Schienen und verbindet damit wieder Eisenmassen S, N (Fig. 473), welche eine zum bequemen Anlegen eines Ankers A geeignete Lage haben, und nennt diese ganze Einrichtung eine Armatur.

2. Magnetnadeln.

Magnetnadeln sind kleine, leichte Magnete, die man in den Zustand freier Beweglichkeit versetzt, indem man sie entweder auf einer Spitze schwingen läßt (Fig. 474), oder an einem ungedrehten Faden aufhängt, wie (Fig. 475 u. 476). Erstere sind gewöhnlich flache Lamellen und haben die Form von sehr spitzwinkligen Rhomben, oder

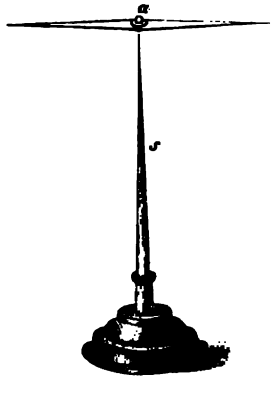


Fig. 474.

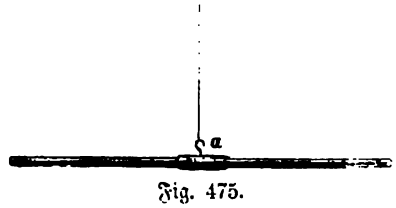


Fig. 475.

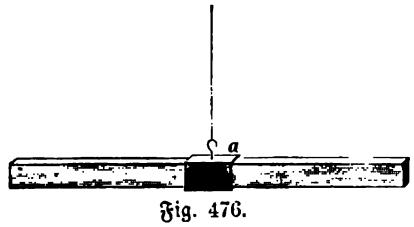


Fig. 476.

auch eines schmalen Rechtecks, dessen kürzere Seiten gleichförmig zugespitzt sind. Die an Faden hängenden Magnetnadeln sind entweder runde Stäbchen, wie (Fig. 475), oder rechtwinklig parallelepipedische Körper (Fig. 476).

Die auf der Spitze schwingenden Nadeln werden mit einem Hütchen versehen, wie (Fig. 474) bei a zu sehen, das inwendig mit einer Platte von hartem Stahl, oder besser noch von Achat versehen ist, weil dieser noch härter als Stahl ist und harte Körper weniger Reibung veranlassen als weiche. (Fig. 477) zeigt ein solches Hütchen

im Durchschnitt, a ist die Achatplatte, bb die messingene Fassung derselben. Die Spitze s der (Fig. 474) besteht aus einem schlanken Stahlkegel, der möglichst hart gemacht ist; er ist in einen messingenen Fuß geschraubt und wird an der Spitze sorgfältig und regelmäßig zugeschliffen. Die an einem Faden hängenden Nadeln werden in eine messingene Hülse a (Fig. 475 u. 476) gesteckt, welche die Form der Nadel hat und oben mit einem Häkchen versehen wird, in das der Faden einzulegen ist. Bei Versuchen, wo es auf große Genauigkeit ankommt, hängt man die Nadel an einen einfachen Coconfaden, weil dieser der Drehung am wenigsten Widerstand entgegensetzt; bei Unterrichtsversuchen, wo man dem Instrument nicht so viel Rücksicht angedeihen lassen kann, wird man besser thun, einen Faden sogenannte Flockseide, welche auch nicht gedreht ist, anzuwenden. Zum Einlegen des Fadens in das Häkchen muß man an diesen eine Schleife machen; das Binden macht bei sehr feinen Fäden viele Mühe; ich lege deshalb das Ende des Fadens blos um, lege, um eine Schleife offen zu halten, ein dünnes Stäbchen oder einen Draht zwischen beide Theile, bestreiche beide mit aufgelöstem arabischem Gummi und drehe sie zwischen den Fingern einigemal herum; wenn der Gummi trocken ist hält dies eben so gut wie eine gebundene Schleife. Am anderen Ende des Fadens kann es dann eben so gemacht werden. Schwerere Nadeln werden, auch selbst zu feinen Versuchen, an zwei oder mehr Coconfäden gehängt. Zu vorübergehenden Versuchen befestigt man den Faden auch wohl mit Klebwachs an der Nadel selbst, ohne Hülse.

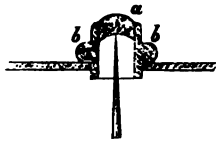


Fig. 477.

Bei Versuchen mit jeder Art schwingender Magnetnadeln muß man natürlich alles Eisen fern halten; Stative und sonstige Körper in der Umgebung dürfen kein Eisen enthalten. Der Experimentirende und alle in der Nähe befindliche Personen müssen Alles ablegen, woran sich Eisen befindet, z. B. Schlüssel, Stahlbrillen, Messer u. s. w., ja, selbst die Geldtasche, wenn etwa Nickelmünzen darin enthalten sind, da Nickel ein magnetisches Metall ist. Selbstverständlich schadet die Stahlspitze, worauf die Nadel schwingt, nichts, weil hier der Stahl stets symmetrisch vertheilt ist, also auf beide Hälften der Nadel ganz gleich wirkt.

Wenn bei einer Magnetnadel das Hütchen oder die Befestigung des Fadens im Schwerpunkt angebracht ist, so daß sie, so lange sie noch unmagnetisch ist, horizontal steht, wird sie, nach dem Magnetisiren, sich mit der einen Hälfte unter die Horizontale neigen, also mit der anderen darüber emporheben; auf der nördlichen Hälfte der Erde senkt sich der Nordpol, auf der südlichen der Südpol. Auf Spitzen schwingende Nadeln werden nun aber immer, an Fäden hangende sehr oft zu Schwingungen in der Horizontalebene gebraucht. Damit solche Nadeln bei uns immer horizontal schwingen, muß also die Südhälfte schwerer als die Nordhälfte gemacht werden; sie dürfen also vor dem

Magnetisiren nicht horizontal schweben. Da nun die Neigung mit der geographischen Breite, zunimmt, so kann eine Nadel, die rücksichtlich ihres horizontalen Standes an einem bestimmten Orte ein für allemal justirt ist, nur an Orten mit derselben magnetischen Neigung gebraucht werden. An den Nadeln für Schiffscompasse bringt man daher einen kleinen Schieber von Messing an, der nach Bedürfniß dem Aufhängepunkt genähert oder davon entfernt werden kann. Bei Nadeln, die am Faden aufgehängt werden, kann man durch Verschieben der Nadel in der Hülse, oder Befestigung des Fadens, die horizontale Lage immer leicht herstellen.

Zu den Versuchen über magnetische Anziehung und Abstoßung bedarf man noch eines Stäbchens aus weichem Eisen, das gerade so geformt ist, wie eine Magnetnadel und entweder auf einer Spitze schwingt oder am Faden hängt.

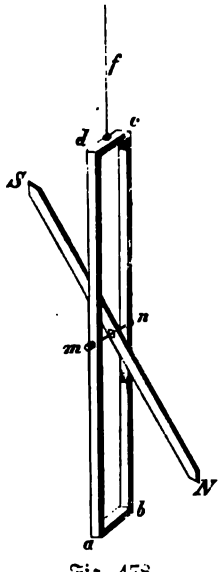


Fig. 478.

Eine Nadel, die in der Horizontal- und in der Verticalebene mit freier Beweglichkeit schwingt, stellt man in der Form der (Fig. 478) her. Die Nadel ist ein Stahlstab von 25—30 cm. Länge, 1 cm. Breite und 3—4 mm. Dicke, an den Enden symmetrisch von zwei Seiten in eine Kante von der Länge gleich der Dicke der Nadel zugefeilt; diese beiden Kanten müssen in die geometrische Achse der Nadel fallen: in ihrer Mitte ist die Nadel senkrecht zur Breite durchbohrt, die Bohrung nimmt eine stählerne Achse auf, die nach beiden Seiten hin etwas dünner gedreht ist, also in der Mitte einen Wulst von der Weite der Bohrung hat, der aber etwas länger als die Dicke der Nadel ist. In diesen Wulst sind nach beiden Seiten hin einige Schraubengänge geschnitten, zwischen denen sich aber noch ein glatter Theil befindet, der ganz genau in die Bohrung paßt. Ist nun die Achse in die Bohrung der Nadel gesteckt, so werden von beiden Seiten her Muttern gegengeschraubt. Die Spitzen werden konisch gemacht und centrisch geschliffen, so daß sie in die geometrische Längenachse fallen. Noch ist besonders darauf zu sehen, daß die Achse genau senkrecht gegen die Ebene der Nadel stehe.

Um diese Nadel mit freier Beweglichkeit aufzuhängen wird ein Messingrahmen a b c d gemacht, dessen Stäbe nicht unter 4 mm. Breite und Dicke haben; der Rahmen selbst ist nur wenig länger als die Nadel, so daß diese nur gerade frei hindurchschwingen kann. Durch die Mitten der längeren Seiten des Rahmens werden Stahlschrauben m, n geführt, in deren Endflächen stumpfe Hohlkegel eingedreht sind; auf die Seitenfläche dieser Hohlkegel kommen die Spitzen der Achse zu ruhen; sie drehen sich so mit äußerst geringer Reibung, so daß die

Nadel N S fast ohne jede Gegenwirkung der magnetischen Anziehung der Erde zu folgen vermag. In der Mitte der einen schmäleren Seite c d des Rahmens wird ein Schräubchen eingesetzt, das der Länge nach äußerst fein durchbohrt ist. Durch die Bohrung wird ein ungedrehter Faden gezogen, an dessen unteres Ende man ein ganz kleines Stückchen Messingdraht befestigt; der Faden f wird dann an einem eisenfreien Stativ festgemacht. Bei dieser Aufhängungsweise kann der Rahmen sich am ungestörtesten drehen und dem Zuge des Erdmagnetismus folgen; sonst kann man auch in die Mitte von c d ein Häkchen einschrauben und den Faden daran befestigen. Nachdem der Faden so aufgehängt und möglichst vor Luftzug geschützt worden, wird er sich bald so drehen, daß die Nadel in den magnetischen Meridian zu liegen kommt, wo sie sich dann in der Verticalebene mit dem Nordpol so weit unter die Horizontale senken wird, daß sie die magnetische Neigung des Beobachtungsortes angiebt. Natürlich muß man die Schrauben m, n, welche die Achsen tragen, so reguliren, daß die Reibung auf das geringste Maß reducirt wird (vgl. S. 123).

Ich habe dieses Instrument schon im Jahr 1836 eben so beschrieben; es ist seit dem in viele Lehrbücher übergegangen, jedoch mit einer Aenderung, die es eigentlich unbrauchbar macht; man hat nämlich für gut befunden, die untere Hälfte des Rahmens fortzulassen; der Rahmen erhält dadurch dicht unterhalb der Schräubchen m, n zwei freie Enden, welche stets federn werden, so daß, wenn man die Schrauben nur wenig anzieht, um zu starke Reibung zu verhindern, der Magnet leicht herausfällt, und wenn man ihn dagegen sicher stellt, die Reibung so groß wird, daß die Nadel ihre Richtungsfähigkeit verliert. Wollte man den Rahmen so stark im Metall machen, daß dadurch das Federn unmöglich würde, so würde das ganze Instrument zu träge, um zu dem vorgesteckten Zwecke zu dienen.

Die bisher beschriebenen Apparate reichen vollständig aus, um die Gesetze der magnetischen Anziehung und Abstoßung experimentel nachzuweisen. Wenn man noch ein Eisenstäbchen hinzunimmt, so wird man theils dieses auf eine schwingende Magnetnadel wirken lassen, theils den einen oder anderen Pol einer fest in der Hand gehaltenen Nadel dem Nord-, so wie dem Südpol einer schwingenden Nadel, oder das schwingende Eisenstäbchen einer schwingenden Nadel, oder zwei schwingende Nadeln einander gegenüberstellen.

Die Richtungsfähigkeit des Magnets zeigt das Instrument (Fig. 478). Dasselbe zeigt, in der Horizontalebene wenigstens, ein kleiner Compaß (Fig. 479). In der Mitte liegt auf dem Boden einer mit Glas gedeckten Büchse die Windrose, im Centrum ist ein Stahlstift, auf welcher sich die Magnetnadel frei bewegt und stets die Richtung des magnetischen Meridians annimmt. Alles übrige dient blos dazu, dem Compaß die Cardansche Aufhängung zu geben (s. S. 144), die bei Schiffscompassen unentbehrlich ist, weil die Nadel nur bei horizontaler Stellung der Dose frei schwingen kann.

Zu gewissen Zwecken bedient man sich solcher Magnetnadeln, auf die der Erdmagnetismus nicht zu wirken vermag; sie heißen **astatische Nadeln**. Am einfachsten stellt man sie durch zwei gleich stark magnetisirte Nadeln n s, n' s' (Fig. 480) her, die parallel mit einander so an einem festen Stäbchen a b verbunden werden, daß ihre Pole entgegengesetzte Lage haben, der Nordpol der einen und der Südpol der anderen nach derselben Richtung hin liegen. Hängt man sie dann an einem ungedrehten Seidenfaden f auf, so zeigen sie keinerlei Richtkraft. Es gelingt selten, ein Paar Nadeln von ganz gleicher magnetischer Intensität

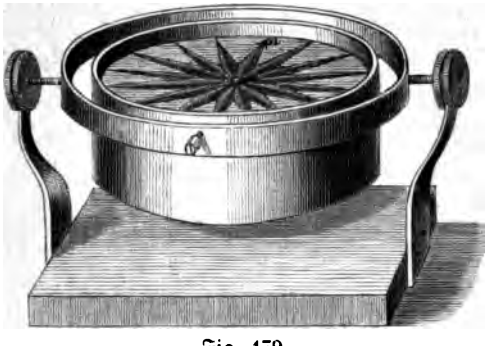


Fig. 479.

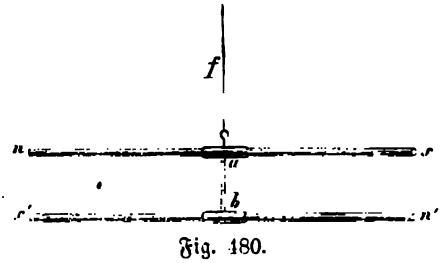


Fig. 480.

zu bekommen; die Richtkraft der Doppelnadel ist dann gleich der Differenz der Richtkräfte beider Nadeln. Man prüft die Nadeln getrennt mittelst der Schwingungsmethode, indem man sie einzeln an Seidenfäden aufhängt, aus dem Meridian ablenkt und die Schwingungen zählt, die sie in einer bestimmten Zeit machen: die Intensitäten ihrer Magnetismen sind dann den Quadraten der Schwingungszahlen proportional.

Ungleich starke Nadeln, die zu einem astatischen Nadelpaar verwendet werden sollen, lassen sich durch nachträgliches Streichen der schwächeren Nadel gleich stark machen; man muß aber die gestrichene immer wieder auf die oben beschriebene Weise prüfen.

Mit einer astatischen Nadel kann man die geringsten Grade des

Magnetismus wahrnehmen, weil der Erdmagnetismus nicht darauf wirkt.

Man kann eine astatische Nadel auch dadurch herstellen, daß man eine Magnetnadel am Faden aufhängt oder auf einer Spitze schwingen läßt und in den durch die Nadel angezeigten magnetischen Meridian einen Magnet so hinlegt, daß dem einen Pol der Nadel der gleichnamige des Magnets gegenüber zu liegen kommt; durch Nähern und Entfernen dieses Pols wird man es nach und nach dahin bringen, den Erdmagnetismus gerade aufzuheben, wo dann die Nadel vom Erdmagnetismus ganz unabhängig, d. h. die Richtkraft der Erde aufgehoben, neutralisirt wird.

Eine andere Methode, eine astatische Nadel herzustellen, wird beim magnetischen Inclinatorium angeführt werden.

8. Instrumente zur Darstellung der wesentlichsten Eigenschaften des Magnets.

Zu den Versuchen über Influenzmagnetismus benutzt man einen der Stabmagnete, einen weichen Eisenstab und eine ganz kleine Nadel, die am Faden schwingt: letztere macht man sich allenfalls aus einem Stück einer stählernen Nähnadel, indem man Spitze und Oehr abbricht, sie magnetisirt und mit Wachs so an einen Coconfaden befestigt, daß sie

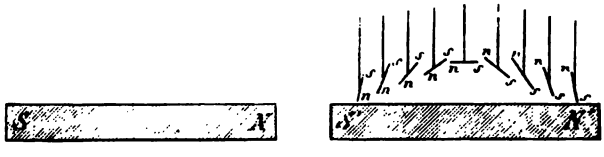


Fig. 481.

horizontal daran hängt. Mit solcher Nadel kann man sowohl die Vertheilung des bleibenden Magnetismus in einem Stahlmagnet, als auch die des vorübergehenden Influenzmagnetismus in einem Eisenstab zeigen. Ist z. B. S N (Fig. 481) ein Magnetstab, S' N' ein weicher Eisenstab und liegt letzterer in derselben geraden Linie mit ersterem, so wird dem Nordpol N gegenüber, in S' ein Süd-, in N' ein Nordpol entstehen, wovon man sich durch die kleine Nadel s n, die am Faden über die verschiedenen Punkte des Stabes fortgeführt wird, überzeugen kann. Je mehr man die Nadel einem Pole nähert, desto schnellere Schwingungen macht sie.

Die Wirkung des Magnetismus durch andere Körper hindurch zeigt man, indem man über einen kräftigen Stab- oder Hufeisenmagnet eine Glasscheibe, oder auch steifes Kartonpapier horizontal überlegt; seitwärts muß diese Decke durch untergelegte kleine Körper aus einem nicht magnetischen Stoff unterstützt werden, damit sie horizontal liegt; schüttet man dann aus einem Gefäß, das mit einem Gazesiebe gedeckt ist, Eisenfeile darauf, so legt sich diese in schönen Curven an, wie (Fig. 482 u.

483) zeigen, welche genau einem wirklichen Versuche nachgebildet sind; A B C D bezeichnet in beiden die über den Magnet gelegte Tafel. An den Polen sammeln sich die Späne dichter an, je weiter entfernt von den Polen, um so weniger dicht.

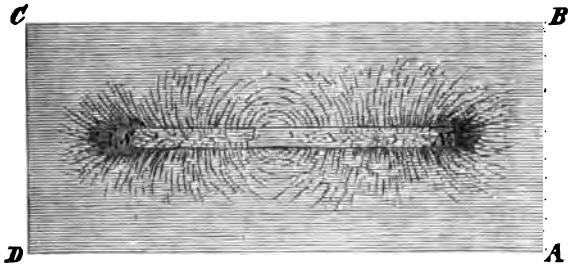


Fig. 482.

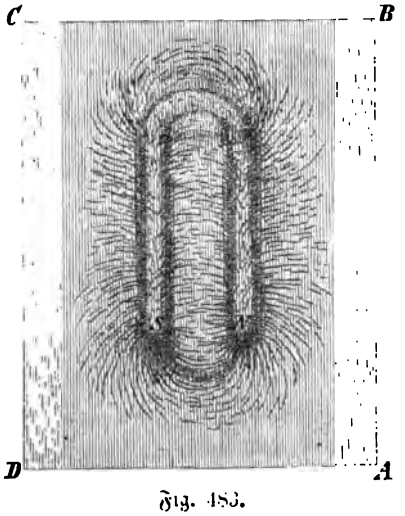


Fig. 483.

Stellt man Versuche über die Tragkraft der Magnete an, so wird man immer die Häcker'sche Formel

$$T = a. \sqrt[3]{P^2},$$

wo P das Gewicht, T die Tragkraft des Magnets bezeichnet, zu Grunde legen; a ist ein Factor, der für Magnete aus derselben Stahlsorte constant ist, aber mit dieser, so wie mit dem Härtegrad sich ändert; er bezeichnet das Tragvermögen eines Magnets, dessen Gewicht eine Gewichtseinheit beträgt. Die Formel gilt übrigens nur für einen Hufeisenmagnet, wo beide Pole zum Tragen einer Last zusammenwirken; ein Pol allein trägt weniger als die Hälfte von dem, was beide tragen.

An den Anker des Hufeisens wird eine Wagschale gehängt, deren Gewicht, so wie das des Ankers man vor dem Versuche bestimmt hat. Die Schale belastet man nach und nach mit immer mehr Gewichten, bis der Anker abreißt; hat man auf einmal nur kleine Gewichtszulagen gemacht, so kann man das Gesammtgewicht im Augenblick des Abreißens als die Tragkraft des Hufeisens ansehen und daraus nach der Formel den Factor a berechnen. Macht man den Versuch mit verschiedenen Magneten, so erhält man an den so gewonnenen Factoren a vergleichbare Werthe für die Stärke ihrer Magnetismen. Je größer der Factor a ausfällt, desto kräftiger ist die im Stahl entwickelte magnetische Kraft.

Aus der Natur der Formel folgt, daß sich der Factor a mit der Gewichtseinheit ändert. Häcker fand z. B. für baierische Loth a oder $\frac{T}{\sqrt[3]{P^2}} = 40$; für Pfund muß jede Größe durch 32 dividirt werden, also hat man:

$$a = \frac{T : 32}{\sqrt[3]{(P : 32)^2}} = \frac{T}{\sqrt[3]{P^2}} : \frac{32}{\sqrt[3]{32^2}} = 40 : \sqrt[3]{\frac{32^3}{32^2}}$$

$$= 40 : \sqrt[3]{32} = 40 : 3{,}174 = 12{,}6.$$

Nun ist 1 Pfund baier. = 560 gr., also

$$a = \frac{T}{\sqrt[3]{P^2}} \cdot \frac{560}{\sqrt[3]{560^2}} = 12{,}6 \cdot 8{,}242 = 103{,}8$$

für Gramm.

$$1\ \text{kgr.} = 1000\ \text{gr.}$$

$$a = \frac{T.0{,}001}{\sqrt[3]{(P.0{,}001)^2}} = \frac{T}{\sqrt[3]{P^2}} \cdot \sqrt[3]{0{,}001} = 103{,}8.01 = 10{,}38$$

Ein ganz vorzügliches Mittel für die Erforschung des Magnetismus und seiner Gesetze ist die schon S. 94 beschriebene Drehwage von Coulomb. Will man sie zu magnetischen Versuchen verwenden, so legt man in die vom Faden getragene Hülse, welche hier die Gestalt von a der Fig. 475 oder 476 bekommt, einen möglichst stark magnetischen Stab und vertauscht, bei einigen Versuchen, den Coconfaden gegen einen sehr dünnen Platin- oder Silberdraht, den durch die Decke gesteckten Hülfsdraht durch einen Magnetstab, der durch die Reibung in jeder Höhe, in die man ihn bringt, festgehalten wird. Einige der wichtigsten Anwendungen dieses nützlichen Apparates mögen im Folgenden besprochen werden.

Man meinte sonst, daß nur Stahl des bleibenden Magnetismus fähig sei. Genauere Untersuchungen haben es aber über jeden Zweifel erhoben, daß auch Nickel und Kobalt magnetische Metalle sind und durch dieselben Mittel in den magnetischen Zustand versetzt werden können, wie Stahl. Da ihr Magnetismus immer nur schwach ist, so wird man besondere Mittel anwenden müssen, ihn unter Umständen nachzuweisen.

Hat man ein Stäbchen aus einem dieser Metalle mit einem Stahlmagnet gestrichen, so schiebe man es in die am Coconfaden hängende Hülse in der Drehwage und nähere es dem Pol des durch die Decke eingesetzten Magnets; da die Drehung des Fadens hier sehr leicht von Statten geht, so wird sich Anziehung oder Abstoßung bald durch eine Drehung der eingelegten Nadel nach der einen oder der anderen Seite kund geben; kehrt man den Hülfsmagnet um, so daß der andere Pol nach Unten liegt, so wird Anziehung in Abstoßung und diese in jene übergehen, woraus unzweifelhaft auf eine magnetische Kraft in der Nickel- (Kobalt-) Nadel zu schließen ist.

Wir wollen jetzt, vor allem Anderen, mittelst der Drehwage den magnetischen Meridian zu bestimmen versuchen.

Man stelle die Richtplatte vollkommen horizontal und setze die Drehwage darauf; auch diese muß gerichtet werden. Dies geschieht mittelst ihrer Fußschrauben nach der Lage der darin befindlichen am Cocon- oder Metallfaden hängenden Nadel; man hilft nämlich durch die Fußschrauben so lange nach, bis die an sich horizontal hängende Nadel nach beiden Enden hin gleich weit vom Glase des cylindrischen Gefäßes absteht und diese Enden gleich weit über oder unter einem der Kreise an der auf das Glas gezeichneten Theilung stehen, so daß die Kreise der Theilung parallel zu stehen kommen mit der von der Nadel bei ihren Schwingungen durchlaufenen Horizontalebene. Da die Richtplatte, worauf die Drehwage steht, horizontal ist, so wird man diese auf der Richtplatte beliebig drehen können, ohne in dieser Beziehung an der Stellung der Drehwage Etwas zu ändern.

Zu den hier vorzunehmenden Versuchen ist noch eine kleine Vervollkommnung der Drehwage erforderlich: erstlich muß die Deckplatte des Cylinders aus starkem Spiegelglas bestehen und vom Nullpunkt der Theilung aus muß eine verticale Linie bis an den oberen Rand des Cylinders gezogen und deutlich bezeichnet sein; an dem Rande der Glasdecke wird ein Faden angebracht, der genau auf die Verticale an der Glasfläche eingestellt werden kann. Dieser Index besteht aus einer über den Glasrand der Deckplatte gekitteten Gabel, an der ein Zeiger mit Indexstrich so angebracht ist, daß er sich genau an die Cylinderfläche darunter anlegt. Dieser Index dient nun auch dazu, die Stellung der Drehwage noch einer Prüfung zu unterwerfen. Man richte den Nullpunkt mit dem darauf eingestellten Index nach irgend einer Himmelsgegend und sehe zu, ob die Nadel die verlangte Stellung zu den Kreisen der Theilung einnehme, d. h. ob diese Kreise horizontal liegen, corrigire, wenn es nöthig ist und drehe dann das ganze Instrument auf der Richtplatte um etwa 90^0 herum. Steht die Nadel zu den Kreisen noch richtig, so kann man überzeugt sein, daß die Drehwage richtig steht; im entgegengesetzten Fall muß man mit den Fußschrauben corrigiren, die Wage in die vorige Lage zurückdrehen, nöthigenfalls wieder corrigiren, in die zweite Lage bringen u. s. w., kurz, dieses Geschäft so lange fortsetzen, bis die Nadel in beiden Stellungen des Instruments mit den Kreisen

einsteht. Von dieser Einstellung hängt die Genauigkeit der nachfolgenden Meridianbestimmung in hohem Grade ab; man sollte sich daher die darauf zu verwendende Mühe nicht verdrießen lassen.

Hat die Drehwage nun ihre richtige Stellung, so nehme man den früher erwähnten Hülfsdraht aus der Deckplatte heraus (er wird überhaupt bei der vorliegenden Arbeit nicht gebraucht), entferne aus der Nähe des Instruments alles Eisen, andere Magnete ꝛc., und drehe die Wage so, daß die darin hängende Nadel ungefähr auf den Nullpunkt einsteht. Sie wird aber nicht genau im magnetischen Meridian liegen, denn der Faden (Draht) kann ja Torsion haben, welche die Nadel hindert, ihrem Streben, sich genau in den magnetischen Meridian zu stellen, Folge zu leisten. Um darüber Sicherheit zu erhalten, nehme man jetzt die Magnetnadel aus der Hülse heraus und lege statt ihrer einen Kupferstab in die Hülse, der mit der Nadel gleiche Länge und Dicke hat. Zu diesem Wechsel wird man die Deckplatte abnehmen und nachdem die Kupfernadel eingesetzt, wieder an ihre Stelle bringen müssen. Mit Hülfe des an die Deckplatte angebrachten Index wird es leicht sein dieser genau dieselbe Lage wieder zu geben, die sie vorher hatte. Nach dem Einlegen der Kupfernadel überzeuge man sich, daß sie genau horizontal sei. Da der Kupferstab nicht vom Erdmagnetismus genöthigt wird, eine bestimmte Richtung anzunehmen, so wird er sich so stellen, daß der Faden keine Torsion bekommt. Zeigt dann die Kupfernadel auf den Nullpunkt der Theilung, wie vorher der Magnet, so hatte der Faden keine Drehung und der Nullpunkt liegt, vom Centrum aus gerechnet, im magnetischen Meridian. Weicht aber die Kupfernadel vom Nullpunkt ab, wie es meist der Fall sein wird, so hatte der Faden Drehung, der Magnet und der Nullpunkt der Theilung lagen nicht im magnetischen Meridian und man muß die Stellung der Drehwage corrigiren. Man drehe, während der unmagnetische Kupferstab in der Hülse liegt, den Kopf der oberen Theilung so, daß der Kupferstab auf den Nullpunkt zeigt. Der Stab wird lange um den Nullpunkt herum oscilliren, ehe er zur Ruhe kommt, und es wäre sehr langwierig, wenn man diesen Zeitpunkt abwarten wollte. Dies ist aber auch nicht nöthig; man beobachte blos, ob die Ausweichungen, die er zu beiden Seiten des Nullpunktes macht, gleich oder ungleich sind. Im ersten Falle würde er nach längerer Zeit im Nullpunkt zur Ruhe kommen und man kann es so ansehen, als ruhte er im Nullpunkt und braucht seine Schwingungen nicht länger abzuwarten. Sind die Ausweichungen ungleich, so drehe man den Kopf so, daß die Mitte des vom Kupferstab beschriebenen Bogens auf den Nullpunkt fällt; natürlich muß man, um sich dessen zu vergewissern, so lange warten, bis die Schwingungen stetig werden und nicht mehr durch die Drehung des Fadens influirt sind. Man vertausche dann den Kupferstab gegen den Magnet und sehe zu, ob die Mitte der Schwingungen, die dieser macht, auf den Nullpunkt fällt. Selbstverständlich muß bei der Wechselung der Nadeln die Deckplatte mit Hülfe des Index genau wieder in die vorige Lage zum Nullpunkte

der Theilung gebracht werden. Macht der Magnet, wie die Kupfernadel es that, zu beiden Seiten gleiche Schwingungen, so liegt der Nullpunkt vom Centrum aus in der Richtung des magnetischen Meridians; denn da die Kupfernadel nach demselben Punkte wies und der Faden bei ihr keine Torsion hatte, so hat er auch jetzt keine und der Magnet steht im Meridian. Beschreibt aber der Magnet zu beiden Seiten des Nullpunkts ungleiche Bogen, so liegt der Nullpunkt nicht in der Richtung des Meridians; aber eben so wenig wird die Mitte des vom Magnet beschriebenen Bogens diese Richtung haben, weil der Faden, wenn der Magnet dahin zeigte, Drehung hätte, also der Richtkraft entgegenwirkte. Man drehe nun das ganze Instrument auf der Richtplatte nach der Seite hin, wo der Magnet zur Ruhe käme, ersetze den Magnet wieder durch den Kupferstab und drehe den Kopf so, daß der Stab wenn er ruhte, auf den Nullpunkt hinwiese. In dieser Lage hat der Faden wieder keine Drehung; man bringe jetzt wieder den Magnet in die Hülse und versuche, ob er im Zustand der Ruhe auf den Nullpunkt zeigt: ist es der Fall, so hat man den magnetischen Meridian gefunden. Es wird aber vielleicht nicht zutreffen; jedenfalls aber ist man demselben schon näher gekommen, und man wird, durch ganz gleiche Versuche sich ihm abermals nähern und zuletzt dahin gelangen, daß der Magnet eben da ruhen bleibt, wo der unmagnetische Messing- oder Kupferstab ruhte, d. h. der Magnet wird, ohne daß der Faden eine Drehung hat, zur Ruhe kommen, sich also im magnetischen Meridian befinden.

Da es, wie man sieht, eine sehr mühsame Arbeit ist, den magnetischen Meridian zu bestimmen, so dürfte es zweckmäßig erscheinen, die so gefundene Richtung in einem Unterrichtslocale dauernd festzustellen. Wenn derselbe sich auch im Laufe der Zeit verändert, so geschieht doch diese Aenderung so langsam, daß die einmal gemachte Bestimmung doch auf viele Jahre hinaus als gültig angesehen werden darf. Das einfachste Mittel, den magnetischen Meridian in einem Locale wo man wiederholt magnetische Versuche anzustellen gedenkt, bleibend zu fixiren, dürfte sein, die Richtung mittelst des Theodolits auf die Wände des Zimmers überzutragen und durch eine Linie mit Oelfarbe zu bezeichnen. Man stelle also die Drehwage gleich von vornherein so auf, daß die Meridianrichtung nach beiden Seiten hin leere Wände trifft; wo dies nicht möglich, muß die Linie auf der Zimmerdecke fixirt werden. Nachdem die Richtung mit Hülfe der Drehwage gefunden, stelle man den Theodolit auf der einen Seite auf und bringe das Fernrohr in die Richtung der zur Ruhe gekommenen Nadel. Es ist hiebei nicht nöthig, den Theodolit auf dem gewöhnlichen Dreifuß aufzustellen, ein fester Dreifuß genügt. Mit der Libelle und den Fußschrauben mache man den Kreis richtig horizontal und prüfe genau, ob der Verticalfaden des Fernrohrs bei allen Neigungen, die man diesem giebt, den in der Drehwage hängenden Magnet und den Faden, woran er hängt, decke. Dann hebe man das Fernrohr, so daß es auf die gegenüberstehende Wand (oder auf die Zimmerdecke) zeigt, und lasse dort, während man

selbst zur Controle durchsieht, von einem Anderen ein Zeichen anbringen, hebe das Fernrohr dann höher, lasse noch ein Zeichen da machen, wo der Verticalfaden des Fernrohrs hinweist, schlage das Fernrohr dann ganz um und lasse noch zwei oder mehr vom Verticalfaden gedeckte Zeichen markiren; endlich lasse man vom Maler die Linie vollständig ausziehen.

Wir wollen jetzt experimentel nachzuweisen versuchen, daß die richtenden Kräfte der Magnetnadel sich wie die Sinus der Ablenkungswinkel verhalten.

Wenn der Magnet auf Null und zugleich im magnetischen Meridian steht, der Faden keine Drehung hat, drehe man den Indexkopf um 360^0 herum und sehe zu, um wie viel sich der Magnet gedreht hat. Coulomb fand bei einem solchen Versuch, daß der Magnet sich nur um $10^1/_2{}^0$ drehte; die Größe dieser Drehung hängt natürlich von der Stärke des Metallfadens, woran der Magnet hängt, ab. In dem vorliegenden Fall drehte die magnetische Kraft der Erde den Faden um $349^1/_2{}^0$ zurück, oder diese Kraft kommt einer Torsionskraft des Drahtes um $349^1/_2{}^0$ gleich. Als dann der Kopf des Instruments noch einmal um 360^0 gedreht wurde, so daß der Draht nun um zwei volle Umdrehungen aus der Ruhelage entfernt war, zeigte der Magnet eine Drehung von $21^1/_4{}^0$ an; die magnetische Kraft bewirkte also Rückdrehung von $720^0 - 21^1/_4{}^0 = 698^3/_4{}^0$. Die dritte volle Umdrehung der oberen Theilung bewirkte eine Drehung des Magnets um 33^0, die magnetische Kraft also eine Rückdrehung um 1047^0; eine vierte Umdrehung drehte den Magnet bis auf 46^0, es war also eine Rückdrehung von 1394^0 vorhanden; bei der fünften Umdrehung zeigte der Magnet auf $63^1/_2{}^0$, folglich betrug die Rückdrehung $1736^1/_2{}^0$. Zur Uebersicht stellen wir diese Resultate tabellarisch zusammen und fügen gleich die Sinus der Ablenkungswinkels hinzu:

Umdrehungen	Ablenkung α des Magnets	Rückdrehung	sin. α
0^0	0^0	0^0	0
1	$10^1/_2$	$349^1/_2$	0,18224
2	$21^1/_4$	$698^3/_4$	0,36244
3	33	1047	0,54464
4	46	1394	0,71934
5	$63^1/_2$	$1736^1/_2$	0,89493

Die Größen der Rückdrehung, welche den kleineren Ablenkungswinkeln entsprechen, verhalten sich nun sehr nahe wie diese Ablenkungswinkel selbst; man kann aber diese Verhältnisse immer noch als die der Sinus der Ablenkungswinkel ansehen, weil bei kleinen Winkeln die sie messenden Bogen in der That von den Sinus dieser Winkel nur sehr wenig abweichen. Untersucht man ob $1047 : 1394 = 54464 : 71934$ oder $1047 \cdot 71934 = 1394 \cdot 54464$ sei, so findet man in der That nur Abweichungen die den Beobachtungsfehlern zuzuschreiben sind, so daß

Coulomb sich berechtigt fand, das Gesetz als thatsächlich nachgewiesen anzusehen.

Eins der wichtigsten Gesetze des Magnetismus, wie aller Naturkräfte, ist ihre Wirkung in die Ferne.

Coulomb hat auch dieses Gesetz auf experimentellem Wege festgestellt. Er wandte zwei verschiedene Methoden an, 1) die Methode der Schwingungen, 2) die Methode der Ablenkungen in der Drehwage. Da diese Versuche gerade sehr geeignet sind, das Geschick des experimentirenden Physikers außerordentlich zu üben, so werden wir hier von beiden Methoden eine kurze Beschreibung geben.

1. Methode der Schwingungen. Coulomb hing eine kleine Magnetnadel an einem einfachen Coconfaden frei auf; die Nadel kam nach einiger Zeit im magnetischen Meridian zur Ruhe; er lenkte sie dann um einen Bogen von beliebiger Größe aus dem Meridian ab und zählte die Schwingungen, welche sie in einer Minute machte. Er fand, daß seine Nadel unter dem alleinigen Einfluß des Erdmagnetismus 15 Schwingungen in einer Minute machte. Er näherte dann der frei schwingenden Nadel den einen Pol eines vertical aufgestellten Magnetstabes bis auf eine gewisse Entfernung (es waren 24 cm.); die Nadel machte dann in der Minute 24 Schwingungen; sie befand sich jetzt aber unter dem vereinten Einflusse des Erdmagnetismus und des Magnetismus des Stabes. Nun wirkt aber jede Quelle einer magnetischen Kraft auf die schwingende Nadel gerade wie die Schwere auf ein Pendel; also sind die wirkenden Kräfte (Magnetismen) den Quadraten der in gleichen Zeiten vollbrachten Schwingungen proportional. Die Kraft des Erdmagnetismus kann also in diesem besonderen Fall ihrer Größe nach durch die Zahl $15^2 = 225$, die vereinte Kraft des Erdmagnetismus und des Magnetstabes durch $24^2 = 576$ vorgestellt werden. Die magnetische Kraft des Stabes kam also in der Entfernung, in welcher er bei diesem Versuche auf die Nadel wirkte, der durch die Zahl $24^2 - 15^2 = 351$ ausgedrückten gleich. Verminderte er die Entfernung des Magnetpols von der Nadel auf die Hälfte, so machte diese 41 Schwingungen in der Minute. Ihre magnetische Kraft drückt sich also durch $41^2 - 15^2 = 1456$ aus. Diese Zahl ist aber fast $= 4.351$. In der halben Entfernung ist also die magnetische Kraft, welche der Magnetpol auf die Nadel ausübt, 4 Mal so groß als in der erst gewählten Entfernung. Die magnetische Kraft ist also dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional.

Solche Versuche sind natürlich sehr subtil und man muß schon eine nicht geringe Gewandtheit im Experimentiren haben, wenn die Resultate wirklich zuverlässig ausfallen sollen. Der Magnetstab muß hiebei möglichst lang genommen werden, damit nicht der andere Pol auf die Nadel einwirken kann, weil sich sonst ganz andere Schwingungszahlen ergeben würden. Die Zeit muß man entweder nach einem Pendel mit hörbaren Schlägen, das ungefähr Secunden angiebt, oder nach einer Secundenuhr abmessen.

2. Versuch mit der Drehwage. Wir halten uns auch hier wieder an das Beispiel von Coulomb und die von diesem angegebenen Zahlen. Man hängt in die Hülse am Verticaldraht der Drehwage einen so langen Magnet, als die Weite des unteren Cylinders es zuläßt; er muß indeß nur schwach magnetisirt und der Nullpunkt der Wage in den magnetischen Meridian gebracht sein, so daß der Aufhängungsdraht in dieser Lage des Magnets keine Drehung erfährt. In ein Lineal von nur 3—4 mm. Dicke wurde ein zweiter Magnet, der eben nicht stark magnetisch war, in einen Falz eingelassen; dieses Lineal stellte man mit dem Magnet vertical in den weiteren Cylinder der Wage so hinein, daß es sich gegen den Nullpunkt der Theilung anlegte, daß der verticale Magnet sich auf der vom horizontalen abgewendeten Seite befand und die gleichnamigen Pole beider Magnete sich in gleicher Höhe, nämlich in der Horizontalebene der Theilung befanden; die Pole waren also im Ruhezustand des beweglichen Magnets kaum um die Dicke des Lineals von einander entfernt. Diese Aufstellung des verticalen, sollicitirenden Magnets hatte den Vortheil, daß nur die Magnetismen an der Kreuzungsstelle beider Magnete wesentlich auf einander wirken konnten, da die Wirkung aller anderen Theile wegen der schnell zunehmenden Entfernungen bald verschwindend klein werden mußte.

Ehe man nun aber den beabsichtigten Versuch mit dem so vorgerichteten Apparat anstellt, ist es erforderlich, zuerst festzustellen, mit welcher Kraft der Erdmagnetismus die Nadel in den magnetischen Meridian zurückführt, wenn sie durch Drehung ihres Befestigungspunkts aus demselben entfernt worden. Zu dem Zwecke läßt man denn den verticalen Magnet noch fort und dreht den Kopf mit dem Index zweimal im Kreise herum, also um 720°. Die Nadel entfernte sich um 20° vom Nullpunkt; der Draht hatte sich also bei zweimaliger Herumdrehung seines Befestigungspunktes nur um 700° gedreht. Da weiter oben, bei der Elasticität, nachgewiesen ist, daß für kleine Ablenkungen, die wirkenden Kräfte den Drehungswinkeln proportional sind, hier auch lediglich die horizontale Componente des Erdmagnetismus auf die Nadel wirkt, so kann man schließen: wenn die elastische Kraft des Aufhängedrahts bei einer Drehung um 700° der magnetischen Kraft der Erde bei einer Ablenkung von 20° das Gleichgewicht hält, so wird einer Ablenkung von 1° durch eine Drehung des Drahtes von $\frac{700}{20} = 35°$ das Gleichgewicht gehalten werden. Natürlich kann diese Krafteinheit nur für die besondere Nadel und den bestimmten Aufhängedraht Gültigkeit haben; mit jeder anderen Nadel und anderem Draht muß das Kraftmaß in ähnlicher Weise experimentel festgestellt werden.

Nun erst, nachdem die magnetische Erdkraft und die Elasticität des Aufhängedrahtes in eine bestimmte Beziehung zu einander gesetzt worden, so daß die eine als Maß der anderen gesetzt werden konnten, brachte Coulomb auch den verticalen Magnetstab, wie oben beschrieben

worden, in das Innere der Drehwage. Hatte der bewegliche Magnet die Richtung des magnetischen Meridians und der Draht keine Drehung, so stieß, bei Coulomb's Versuch, wo gleichnamige Pole einander genähert waren, der verticale Magnet den beweglichen um 24° ab. Diese Ablenkung kommt der elastischen Kraft des Drahtes bei 35 Mal 24" = 840° gleich. Außer der Elasticität des Drahtes strebt aber auch die richtende Kraft der Erde, den Magnet in den Meridian zurückzuführen, und zwar mit einer Kraft, die einer Drehung des Drahtes um 24° entspricht; das volle Maß der Abstoßung der gleichnamigen Pole wird also hier durch eine Drehung des Drahtes um 840 + 24 = 864° gemessen.

Als Coulomb dann den Index dreimal, also um 3.360° = 1080° in der der Ablenkung von 24° entgegengesetzten Richtung drehte, d. h. so, daß der Magnet sich dem Meridian nähern mußte, wich dieser noch 17° vom Meridian ab. Der Draht ist also um 3.360° + 17° = 1097° gedreht, und da der feste Magnet den beweglichen um 17° abstößt, kommt diese Abstoßung einer Drehkraft von 35.17" = 595" gleich; die Gesammtabstoßung des Magnets ist also, in die Torsionselasticität des Drahtes ausgedrückt, = 1097° + 595° = 1692°. Der Index wurde nun noch 5 Mal der Ablenkung der Nadel entgegen herumgedreht, so daß der Draht eine Drehung von 8.360° = 2880° erlitt; die Nadel blieb bei 12° stehen; der Draht hatte also eine Drehung von 2880° + 12° = 2892°. Der Magnet wirkte der elastischen Drehkraft entgegen mit 35.12° = 420°; die Gesammtabstoßungskraft des Magnets kommt also einer Drehkraft von 2892° + 420° = 3312° gleich. Nun verhalten sich die Ablenkungen wie 12:17:24; die abstoßenden Kräfte des Magnets wie: 3312:1692:864.

Nun sind die Kräfte allerdings nach den Kreisbogen gemessen, während sie durch die Senkrechten auf die betreffenden Radien, d. h. durch die halben Sehnen der doppelten Bogen, oder durch die Sinus der Bogen oder Winkel gemessen werden müßten. Bei so kleinen Winkeln aber, wie hier in Anwendung kommen, sind die Sinus den Bogen bekanntlich nahezu gleich. Man wird also immerhin die Bogen oder Winkel als die Maße der abstoßenden Kräfte nehmen, d. h. sie für ihre Sinus substituiren können.

Es handelt sich nun darum, aus den durch den Versuch gewonnenen Zahlen zu ermitteln, ob die abstoßenden Kräfte des Magnets sich in der That umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen verhalten, d. h. ob $1692:3312 = 12^2:17^2$ und $12^2:24^2 = 864:3312$; die Rechnung giebt 1650 statt 1692 und 818 statt 864. Die Abweichungen der beobachteten Zahlen von den berechneten sind nicht groß, und hauptsächlich in dem Umstande begründet, daß in der Wirklichkeit nicht nur die Punkte, welche die eigentlichen Pole der Magnete ausmachen, auf einander wirken, sondern daß auch von den benachbarten Punkten noch Abstoßungen statt fanden, und zwar daß die Wirkung dieser Nachbarpunkte bei den drei Versuchen nicht gleich

ausfallen konnte, weil, wenn die Magnete einander näher sind, diese Nebenpunkte in schieferen Richtungen wirken als bei größeren Entfernungen der Magnete.

Diese Versuche nehmen viel Zeit in Anspruch und müssen, um in einer Unterrichtsstunde durchgeführt zu werden, jedenfalls vorher vollständig vorbereitet werden.

Interessant sind noch die ebenfalls zuerst von Coulomb angestellten Versuche über die Vertheilung der Magnetismen in gehärteten Stahlstäben. Man bedient sich dabei der Schwingungen einer kleinen, an einem ungedrehten Seidenfaden hängenden Magnetnadel. Der Magnet, dessen Magnetismus man prüfen will, wird vertical gestellt; auf der einen Seite dieses Magnets stellt man in der Ebene des magnetischen Meridians einen dünnen Holzstreifen auf, hinter welchem man die am Faden hangende Nadel nach einander den verschiedenen Punkten des Magnets nähert, so, daß sie zwar sich an den Holzstreifen anlehnt, jedoch ohne einen Druck gegen denselben auszuüben. Die Aufhängung der Nadel kann am zweckmäßigsten in der Drehwage statt finden, wo dann natürlich auch der Magnet mit der dünnen Holzplatte angebracht wird. Ehe man den Magnet in die Wage einführt, muß man die Nadel so in derselben aufhängen, daß sie im magnetischen Meridian zur Ruhe kommt, ohne daß der Faden eine Drehung erleidet; man lenkt sie dann aus dem Meridian ab und zählt die Schwingungen, welche sie unter der bloßen Einwirkung des Erdmagnetismus in einer bestimmten Zeit, etwa einer Minute, macht; es seien dies s Schwingungen, so ist die erdmagnetische Kraft der Zahl s^2 proportional. Nun bringe man den Magnet an der Seite der Holzplatte an, und zähle wieder die Schwingungen der kleinen Nadel, nachdem sie einem Punkte des Magnets gegenübergestellt und aus dem Meridian abgelenkt worden; sie mache n Schwingungen in 1 Minute. Die Nadel befand sich daher unter dem vereinigten Einfluß des Erdmagnetismus und des ihr nächsten Magnetpols. Die auf sie ausgeübte Kraft wird durch die Zahl n^2 vorgestellt; die durch den Magnet allein ausgeübte Kraft ist also $= n^2 - s^2$. Wird die Nadel einem anderen Punkte des Magnets gegenüber aufgestellt und macht sie hier n' Schwingungen in derselben Zeit, so ist die Wirkung dieses Theils des Magnets $= n^2 - s^2$; sind also m und m' die magnetischen Kräfte des Stabes an diesen beiden Punkten, so ist $m : m' = (n^2 - s^2) : (n'^2 - s^2)$. In derselben Weise untersucht man alle Punkte des Magnetstabes seiner Länge nach.

Mißt man den Abstand jedes der so untersuchten Punkte von dem Ende des Stabes und betrachtet diese Abstände als Abscissen, während man auf senkrechte Linien, die in jedem Punkte zur Achse des Stabes errichtet werden, den an diesen Punkten gefundenen magnetischen Intensitäten proportionale Linien als Ordinaten aufträgt und die Endpunkte dieser Ordinaten verbindet, so erhält man die magnetische Linie für diesen Magnet. Diese Linien sind logarithmische Curven.

4. Das Magnetisiren des Stahls.

Stahl, aus dem man einen Magnet machen will, muß von guter Beschaffenheit sein, im Bruch gleichmäßig und feinkörnig. Was das Härten betrifft, so ist schon w. o. gesagt, daß er zu diesem Zwecke nach dem Härten nur bis zur strohgelben Farbe angelassen werden darf. Seine Coërcitivkraft ist dann viel größer, als wenn er weicher gemacht, etwa gar bis zur blauen Farbe angelassen wird, wie oft angegeben wird. Allerdings hält es schwerer und erfordert mehr Arbeit, im harten Stahl die höchste Intensität des Magnetismus hervorzurufen; aber er behält denn auch einen viel höheren Grad des Magnetismus als der weichere, die constante, bleibende Kraft ist im harten Stahl größer als im weichen.

Stahlmagnete werden theils durch Streichen mit Magneten, theils durch Elektromagnetismus gemacht. Letzteres Verfahren werde ich beim Elektromagnetismus besprechen, hier mich also blos auf die Methode des Streichens beschränken. Zwar werden gegenwärtig die meisten Magnete durch den elektrischen Strom direct erzeugt, oder auch, es werden durch den Strom starke Elektromagnete gemacht, die man dann zur Herstellung der Stahlmagnete benutzt; namentlich ist dies der Fall wenn man große und kräftige Magnete herstellen will. Indessen wird die Methode des Streichens in der einen oder anderen Form doch immer noch vielfach zu kleineren Magneten in Anwendung bleiben.

a. Der einfache Strich.

Kleinere Magnete und Magnetnadeln werden in der einen Hälfte mit dem einen, in der anderen mit dem anderen Pol eines Magnets gestrichen, indem man diesen immer von der Mitte des ganzen Stabes aus nach dem betreffenden Ende hin führt, eine Strecke weit über den zu magnetisirenden Stab hinaus und von da in einem Bogen nach der Mitte zurück bringt und dieses Verfahren 10 bis 20 Mal auf jeder Hälfte des Stabes wiederholt, den Stab dann umkehrt, so daß die Seite, die unten lag, nun oben zu liegen kommt, endlich diese Seite in beiden Hälften gerade so streicht wie die andere.

Der einfache Strich kann noch dahin abgeändert werden, daß man sich zweier Magnete bedient und gleichzeitig die eine Hälfte mit dem Nordpol des einen, die andere Hälfte mit dem Südpol des anderen Magnets streicht; man setzt die beiden entgegengesetzten Pole in der Mitte auf und neigt die Magnete beiderseits unter gleichen, zwischen 20 und 30° betragenden Winkeln gegen den Stab, wie (Fig. 484) solches veranschaulicht. Im Uebrigen verfährt man so, wie oben für einen Magnet beschrieben.

Den zu streichenden Stab muß man übrigens gut befestigen, damit er sich während der Arbeit nicht verschieben kann, weil sonst leicht unrichtig gelegene Pole und Folgepunkte entstehen. Am besten ist es, die

Stäbe zur Hälfte ihrer Dicke in Holz einzulassen, das entweder so massiv und schwer ist, daß man ein Verrücken desselben nicht zu fürchten hat, oder das anderweitig, etwa durch Schraubzwingen ꝛc. an den Tisch befestigt wird. Der sicheren Handhabung wegen ist es zweckmäßig, in der Mitte, bei a, einen Keil mit solchen Neigungen anzubringen, daß die Streichmagnete, wenn sie daran gelegt werden, die richtige Neigung bekommen; der Keil wird mit Draht am gestrichenen Stab befestigt.

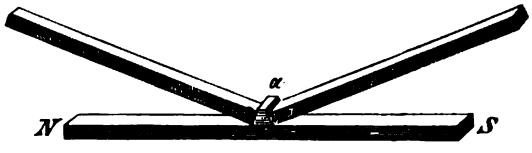


Fig. 484.

Ist man im Besitze einer hinreichenden Zahl von Magneten so lege man zwei derselben, mit den entgegengesetzten Polen einander zugekehrt, in einer geraden Linie in solchem Abstand von einander, daß der zu streichende Stab mit seinen Enden auf die einander zugekehrten Pole derselben gelegt werden kann. Zwischen diesen Polen bringe man ein passendes Stück Holz an, auf welchem der Stab gehörig befestigt werden kann, und streiche nun den Stab wie im vorigen Fall, natürlich jede Hälfte mit demjenigen Pol, der mit dem worauf sie liegt, gleichnamig ist. Es ist dies immer noch der einfache Strich; aber wenn die unterliegenden Magnete einigermaßen kräftig sind, wird dadurch der Erfolg bedeutend erhöht.

b. Der Doppelstrich.

Beim Doppelstrich setzt man eben so zwei Magnete mit ihren entgegengesetzten Polen auf die Mitte des zu streichenden Stabes unter sehr schiefen Winkeln auf; jedoch, damit die aufgesetzten Pole einander nicht berühren können, legt man auch hier ein Stück eines nicht magnetischen Körpers, Holz, Messing ꝛc. zwischen sie, dem man leicht eine Form geben kann, daß er bei dem folgenden Verfahren mit einiger Sicherheit auf dem Stabe hält. Sehr vortheilhaft ist es auch hier, den Stab auf die entgegengesetzten Pole zweier kräftigen Magnete zu legen, wie bei dem letzten Verfahren des einfachen Striches. Nachdem diese Vorbereitungen getroffen, führe man die beiden aufgesetzten Magnete von der Mitte des Stabes bis an das eine Ende desselben (aber nicht darüber hinaus), und von da zurück nach dem anderen Ende, dann nach dem ersten, wieder nach dem anderen zurück u. s. w, und wiederhole das 10 bis 20 Mal. Nachdem die obere Seite des Stabes so gestrichen, kehre man diesen um und streiche die andere Seite gerade eben so. Dieses Verfahren ist besonders für Magnete von größerer Masse anwendbar. Bequemer ist es, statt der zwei Magnete einen

Hufeisenmagnet senkrecht auf die Mitte aufzusetzen (Fig. 485) und diesen nach dem einen, dann nach dem anderen Ende zu führen, so daß nur der vorangehende Pol das Ende erreicht, endlich das Hufeisen in der Mitte abzuheben.

c. Die Hoffer'sche Methode.

Um einen hufeisenförmigen Stahlstab zu magnetisiren, legt man diesen horizontal hin und befestigt ihn; an die Enden des Stabes wird ein Stück weiches Eisen als Anker angelegt. Nun setzt man einen hufeisenförmigen Magnet dicht am Anker auf die beiden Schenkel des Hufeisens, so daß er mit diesem rechte Winkel bildet (Fig. 486), führt den Streichmagnet über die Schenkel des Stabes fort bis über die Wölbung hinaus und setzt ihn, wie vorher, wieder auf die Schenkel; nachdem dies mehreremal wiederholt worden, haben die Enden des Hufeisens Pole, die mit denen, womit sie gestrichen, gleichnamig sind.

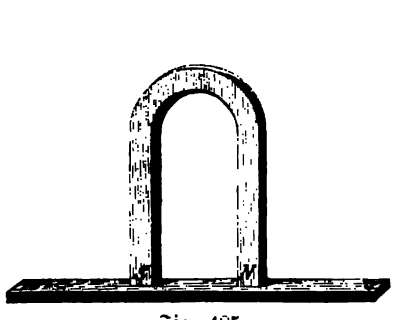


Fig. 485.

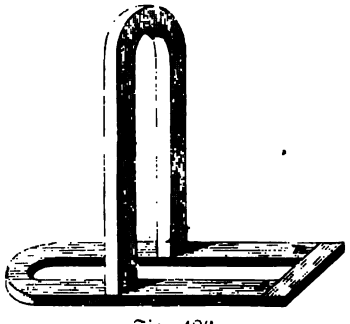


Fig. 486.

Eine zweite Methode, Hufeisen mit einem Hufeisenmagnet zu streichen, besteht darin, daß man den Streichmagnet auf die Wölbung auffetzt und gegen die Enden der durch einen Anker geschlossenen Schenkel hin und darüber hinaus bewegt. Hiebei erhalten die Schenkel entgegengesetzte Polarität mit der der streichenden Schenkel.

In derselben Weise kann man auch zwei gerade Stäbe mit einem Hufeisenmagnet streichen, wenn man sie in der Weite der Schenkel des letzteren parallel mit einander hinlegt und je zwei Enden durch ein Rechteck verbindet, so daß die Stäbe mit diesen Ankern ein Rechteck bilden.

d. Der Kreisstrich.

Gerade Stäbe werden durch zwei weiche Eisenstäbe von gleicher Dicke mit den Stäben zu einem Rechteck verbunden und gehörig an die Unterlage befestigt; dann setzt man auf das eine Ende eines der Stäbe, dicht am Anker, den einen Pol eines Magnetstabs auf und führt ihn über den Stab fort, dann über den Anker am anderen Ende,

den anderen Stab u. s. w. mehrere Mal im Kreise herum und hebt ihn bei der Stelle, wo man ihn aufgesetzt hatte, vom Anker ab. Dieses Ende erhält die dem streichenden Pol entgegengesetzte Polarität. Gerade so kann man zwei Hufeisen von gleicher Schenkelweite, nachdem sie mit den Enden der Schenkel an einander gelegt sind, mit einem Pol eines Magnetstabes streichen; man setzt den Pol auf einer der Wölbungen auf und hebt ihn, nachdem er mehrere Mal herumgeführt worden, eben da wieder ab. Der letztberührte Schenkel erhält dann den dem streichenden entgegengesetzten Pol.

5. Instrumente zur Erforschung und Anwendung des tellurischen Magnetismus.

a. Declination.

Je nach dem Zwecke, zu dem magnetische Declinationsinstrumente bestimmt sind, können sie sehr verschieden sein. Der allen gemeinsame Zweck ist, die Abweichung des magnetischen Meridians vom astronomischen für einen bestimmten Beobachtungsort anzugeben.

Soll das Instrument dazu dienen, ungefähr die Himmelsgegenden zu bestimmen, so reicht dazu eine einfache Compaßnadel aus. Sie besteht aus einer Messingbüchse, auf deren innerer Bodenfläche ein Kreis aufgetragen und in 360° getheilt ist: in den vier Quadranten sind noch die Cardinalpunkte Süd, West, Nord, Ost angegeben; oder es ist auch wohl, außer der Theilung, eine mehr oder minder vollständige Windrose mit 18 oder 32 Windstrichen aufgetragen. Im Centrum ist eine Stahlspitze eingesetzt, auf der eine Magnetnadel frei schwingt. Die Büchse erhält einen festschließenden Glasdeckel, der zwar der Nadel freie Beweglichkeit läßt, sie aber auch daran hindert, von der Spitze herabzufallen. Will man sich damit an irgend einem Orte orientiren, so muß man die Abweichung, welche in der Gegend stattfindet, kennen und berücksichtigen. Gesetzt, man wisse, daß die Abweichung 18° westlich betrage, so drehe man den Compaß so, daß der Nordpol der Nadel auf 18° w. (vom Nordpol oder Nullpunkt der Theilung aus) zeigt, so ist der auf der Theilung mit N bezeichnete Punkt nach Norden gerichtet.

Der Schiffscompaß unterscheidet sich vom eben beschriebenen wesentlich dadurch, daß er, um die Schwankungen des Schiffes für die horizontale Lage der Nadel unschädlich zu machen, eine cardanische Aufhängung erhält, d. h. in zwei Ringen hängt, die sich um zwei zu einander rechtwinklige Achsen drehen können (vergl. Fig. 479 S. 449). Außerdem wären beim Schiffscompaß noch andere, besondere Einrichtungen zu erwähnen, die indeß dem Zwecke dieses Buches fern stehen, daher übergangen werden müssen.

Aus demselben Grunde müssen wir es uns versagen, von den Bousolen zu handeln, welche zu Zwecken der Feldmeßkunst gebaut, jetzt indeß nur ausnahmsweise noch gebraucht werden.*)

*) In meiner „Geodäsie" ist ausführliche Belehrung über die Bousolen als Meßinstrumente zu finden.

Um die magnetische Abweichung zu bestimmen hat man schon seit 40 Jahren in dem Magnetometer von Gauß einen ganz vorzüglichen Apparat, der Alles leistet, was man nur verlangen kann, vorausgesetzt, daß diejenigen Bedingungen erfüllt werden, die für seine Aufstellung und für seinen Gebrauch unerläßlich sind. Außer dem hohen Preise des Instruments stehen die Unzulänglichkeit der Locale, der Mangel an der zu den Versuchen nöthigen Zeit und manches Andere der Einführung desselben zu einer für Unterrichtszwecke bestimmten Sammlung entgegen. Aus diesen Gründen erscheint es geboten, die Beschreibung desselben von diesem Buche auszuschließen.

Zur Ermittelung des magnetischen Meridians an einem bestimmten Orte gehören zweierlei Untersuchungen: 1) die Bestimmung des astronomischen Meridians, 2) die Bestimmung des magnetischen Meridians; aus beiden ergiebt sich dann die Abweichung des magnetischen Meridians vom astronomischen, d. h. die magnetische Declination. Es ist zwar oben gezeigt, wie man unter den gewöhnlichen räumlichen Verhältnissen und ohne sehr complicirte und theure Instrumente die Richtung des magnetischen Meridians annähernd bestimmen könne, denn auf absolute Genauigkeit macht jenes Verfahren keine Ansprüche. Um aber die Abweichung zu finden, fehlt noch die Richtung des astronomischen Meridians. Diese zu bestimmen ist nun zwar eine rein astronomische Operation und hat, wenn das vorhandene Local nicht die dazu erforderliche Einrichtung hat, einige Schwierigkeiten. Wir besitzen indeß in dem Declinatorium von Gambey ein Instrument, mit dessen Hülfe man wenigstens da, wo ein freier Horizont vorliegt, das Verlangte wird leisten können. Dasselbe ist in (Fig. 487) dargestellt. Es besteht aus einem getheilten Kreis KK, der auf einem Stativ mit drei Stellschrauben ruht. Die Säule S des Stativs ist hohl und nimmt einen in ihr drehbaren Zapfen auf, welcher die Platte PP trägt. Diese hat in der Richtung ihrer Länge schmälere Ansätze, die bis zum Limbus des Kreises reichen, wo sich die Klemm- und Mikrometervorrichtung M befindet, wie wir eine solche S. 120 beschrieben und durch (Fig. 114) in größerem Maßstabe gesondert vorgestellt haben. Unsere (Fig. 487) giebt sie nur auf der einen Seite: in der Wirklichkeit ist gegenüber noch eine zweite. Die Platte PP trägt die zwei messingenen Säulen CC, welche durch die Platte QQ verbunden sind; auf dieser Platte ist noch, fest damit verbunden, das Gerüst aufgebaut, das in den Lagern LL die Achse eines astronomischen Fernrohrs F aufnimmt. Das Fernrohr ist somit in der Horizontalebene um die Achse des Ständers S drehbar. Durch den Klemmapparat M kann es in jedem beliebigen Punkte bei dieser Drehung festgestellt und durch die Mikrometerschraube m genauer eingestellt werden. Am Nonius N wird durch die Loupe l die Stellung des Index (d. h. des Nullpunkts des Nonius) und somit die Richtung des Fernrohrs abgelesen. In der Wirklichkeit ist 180° von diesem Nonius noch ein zweiter, wie bei allen solchen Winkelmessern; auch dieser ist in der Figur weggelassen, um eine möglichst einfache Zeichnung zu

bekommen. Um das Fernrohr unter jedem Elevationswinkel feststellen und den Höhenwinkel ablesen zu können, ist der Höhenkreis H angebracht, welcher eben so wie der Horizontalkreis, eine Bremsschraube, ein Mikrometerwerk und einen Nonius bekommt. Die Platte QQ ist in der Mitte durchbrochen, der Rand der Oeffnung trägt die Lager für die drehbare Achse a a, um welche ein einfacher Coconfaden, oder wenn es

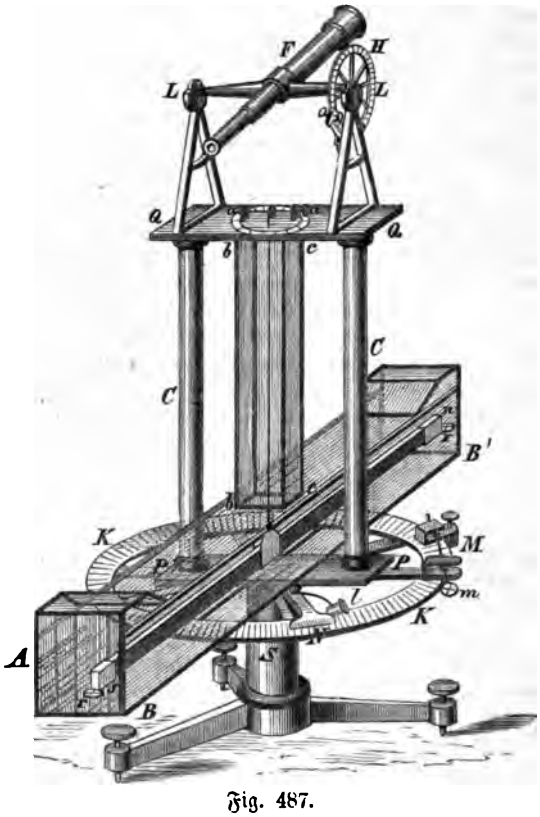


Fig. 487.

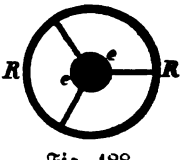


Fig. 488.

Fig. 489.

nöthig, ein Bündel mehrerer solcher Fäden aufgewickelt ist, woran unten die Magnetnadel n s in einer Metallhülse hängt, in welcher sie sich mit einiger Reibung verschieben läßt, so daß es immer möglich ist, ihr eine horizontale Lage zu geben und sie dann diese Lage beibehält. An dem Ende der Magnetnadel n s sind Messinghülsen auf diese aufgestreift; jede Hülse trägt einen in der Horizontalebene vorstehenden Ring r, in welche ein Fadenkreuz aus zwei sich rechtwinklig schneidenden Spinnefäden eingesetzt ist. Die Kreuzungspunkte dieser Fäden müssen in die durch die geometrische Achse der Nadel bestimmte Verticalebene

fallen. Um Bewegungen der Nadel durch störende Luftströme zu verhindern, wird der Faden, woran die Nadel hängt, von einer gläsernen oder metallenen Hülle bb cc umgeben (es könnte dies auch eine einfache Glasröhre sein), und die Nadel selbst in einen Kasten AA'BB' geschlossen, der mit einem gläsernen Deckel versehen ist.

Das Fernrohr, das in jedem Azimuth, das man dem Nonius N auf dem Limbus des Kreises KK giebt, sich wie ein Passageinstrument an der horizontalen Achse LL in der Verticalebene herumdrehen läßt, hat nun noch eine besondere Einrichtung, um es geeignet zu machen, sowohl entfernte, wie nahe Gegenstände dadurch zu beobachten. Um nämlich den Apparat nach dem astronomischen Meridian zu stellen, muß man das Rohr auf entfernte Gegenstände richten und von ihnen ein deutliches Bild bekommen; um ferner das Fernrohr so zu justiren, daß seine Drehungsebene in die durch die geometrische Achse der Magnetnadel bestimmte Verticalebene fällt, muß man es, wie wir nachher sehen werden, auf die Kreuzungspunkte der Fadenkreuze r,r richten, es also, weil diese nahe liegen, als Mikroskop benutzen. Nun kann man aber durch ein Objectiv von großer Brennweite, wie sie für ein Fernrohr nöthig ist, von nahen Gegenständen kein reelles Bild erhalten, welches, durch das Ocular betrachtet, ein deutliches Bild des Objects geben könnte; man wird immer nur ein virtuelles Bild von dem Objectivglas bekommen, auf das kein Ocular anwendbar ist. Für so nahe Gegenstände muß das Objectiv, wie beim Mikroskop, kurze Brennweite haben und ein wirkliches Bild kurz vor dem Ocular liefern. Gambey hat nun eine Vorrichtung erfunden, mit der man, ohne das Objectiv zu wechseln, nahe und entfernte Objecte mit gleicher Deutlichkeit beobachten kann. Er setzt nämlich der Mitte des gewöhnlichen Objectivs ein kleineres concavconvexes Glas vor, das in Verbindung mit dem eigentlichen Objectiv eine Convexlinse von kürzerer Brennweite bildet. Will man nun das Fernrohr auf entfernte Gegenstände richten, so setzt man dem Objectiv den Ring RR (Fig. 488) vor (man schiebt ihn, wie einen Deckel auf das Objectivende des Rohrs), der in der Mitte ein undurchsichtiges Plättchen ee hat, das durch drei dünne Drähte an den Ring befestigt ist; man erhält dann nur durch die äußeren Theile des Objectivs Licht, das wie gewöhnlich im Fernrohr gebrochen wird; will man aber nahe Gegenstände, z. B. Kreuzfäden rr (Fig. 487) sehen, so muß man die äußere Fläche des Objectivs verdunkeln und nur Licht durch die Mitte zulassen, was durch die Platte TT (Fig. 489) geschieht, welche in der Mitte eine Oeffnung h hat. Da das Fernrohr F selbst ein Fadenkreuz hat, so wird man auch in beiden Fällen einen bestimmten Punkt des Gesichtsfeldes fixiren können.

Ehe man nun dazu schreitet, mit diesem Declinatorium den astronomischen und den magnetischen Meridian zu bestimmen, muß man es richtig stellen und auch das Fernrohr justiren. Ersteres geschieht durch eine auf den Kreis KK gestellte Dosenlibelle und die Fußschrauben. Was das Fernrohr betrifft, so muß man sich überzeugen, ob die Dreh-

achse desselben horizontal und ob die optische Achse des Fernrohrs senkrecht zur geometrischen Achse der Drehachse LL stehe. Ersteres geschieht durch eine an die Drehachse gehängte Libelle. Man hat für größere Meßwerkzeuge solche Libellen, welche eine zweckmäßige Aufhängevorrichtung haben, und mit Correctionsschrauben versehen sind, um die Libellenachse genau parallel mit der Drehachse des Fernrohrs zu stellen; hat man die Parallelität beider Achsen erreicht, so findet man leicht ob die Drehachse horizontal steht oder nicht, denn, ist die Libellenachse parallel damit, so muß die Libelle einstehen, wenn die Drehachse horizontal sein soll; steht sie nicht ein, so muß durch eigene Correctionsschrauben, die an den Lagern der Drehachse angebracht sind, nachgeholfen werden. Um zu prüfen, ob der Kreuzungspunkt der Fäden des Fernrohrs bei der Umdrehung dieses letzteren sich in einer Verticalebene bewege, hänge man in einer Entfernung von 20 bis 30 m ein Loth an einem dünnen schwarzen Faden auf, richte den Kreuzungspunkt der Fernrohrfäden darauf und beobachte, ob, wenn das Fernrohr um seine Achse LL gedreht wird, der Kreuzungspunkt stets das Loth decke. Da die Drehachse des Fernrohrs bereits horizontal gestellt ist, so könnte nur eine seitliche Verschiebung derselben den Fehler hervorgebracht haben; diesem läßt sich wieder durch eine Verschiebung der Achse im einen Lager abhelfen, worauf das Instrument auch gewöhnlich eingerichtet ist. Es frägt sich endlich noch, ob der Kreuzungspunkt der Fernrohrfäden bei der Verticalbewegung des Fernrohrs beide Kreuzpunkte der Fäden r und r treffe, oder mit anderen Worten, ob die vom Fernrohr beschriebene Verticalebene senkrecht zur Verbindungslinie der beiden Fadenkreuze r,r sei. Man wird, um dies zu prüfen, das Instrument auf dem Theilkreis KK so drehen, daß das Fadenkreuz des Fernrohrs wenigstens mit dem einen Kreuzfaden r zusammenstimmt, dann das Fernrohr auf das andere Fadenkreuz richten; stimmt es hier nicht ein, so lese man den Nonius am Theilkreis ab, drehe das Instrument um seinen Centralzapfen so, daß das Fadenkreuz des Fernrohrs mit diesem zweiten Kreuzfaden r zusammenfällt, und lese wieder die Noniusangabe ab. Die Mittellinie zwischen beiden abgelesenen Noniusangaben wird dann die Richtung des magnetischen Meridians sein. Um ein etwas genaueres Resultat zu bekommen wende man jetzt die Magnetnadel in ihrer Hülse so um, daß Oben und Unten vertauscht werden, wiederhole mit der so umgewendeten Nadel dieselben Versuche, so wird sich meist ein vom ersten etwas abweichendes Resultat für die Lage des magnetischen Meridians ergeben. Nimmt man dann aus beiden Resultaten das arithmetische Mittel, so giebt dieses den Punkt der Limbustheilung, dessen Verbindungslinie mit dem Centrum des Horizontalkreises die Lage dieses Meridians bestimmt. Zur späteren Verwendung hat man sich die so berechnete Gradzahl zu notiren.

Es bleibt jetzt noch, um die magnetische Abweichung zu finden, übrig, den astronomischen Meridian zu bestimmen. Dies geschieht am einfachsten nach der Methode der correspondirenden Höhenbeobachtungen.

Hiezu ist aber erforderlich, daß man das Instrument in einem Zimmer mit freier südlicher Aussicht aufstelle. Natürlich ist dies denn auch schon zu der beschriebenen Beobachtung nöthig, da man, wenn der magnetische Meridian bestimmt worden, das Instrument nicht von der Stelle bringen darf, weil ja beide Meridiane in Beziehung zu einander gebracht werden sollen. Man lasse also nun das Instrument in der Lage, die ihm bei der Bestimmung des magnetischen Meridians gegeben, unverändert stehen. An einem heiteren Abend richte man das Fernrohr auf einen hellen Stern, der etwas ostwärts vom Meridian steht; wenn der Kreuzpunkt der Fäden gerade den Stern deckt, ziehe man die Bremsschraube am Limbus des Horizontalkreises KK, sowie die am Höhenkreise H an, so daß das Fernrohr nun weder in der Horizontal- noch in der Verticalebene bewegt werden kann. Der Verticalkreis fehlt sonst an den Gambey'schen Declinatorien, weil angenommen wird, daß der astronomische Meridian nach anderen Methoden bestimmt werde. Am Horizontalkreise lese man die Angabe des Nonius ab und notire sie. Man löse jetzt die Bremsschraube des Horizontalkreises, lasse aber die des Höhenkreises unberührt. Der Stern wird höher und höher steigen, dann, wenn er durch den Meridian geht, die höchste Höhe erreichen und von da an wieder sich senken, weiter zum Horizont herunter sinken. Man drehe also das Instrument auf dem Horizontalkreise langsam herum, so nämlich, daß die Kreuzfäden des Fernrohrs immer ziemlich nahe mit dem Stern in einer Verticalebene stehen, um den Stern, wenn er wieder zu derselben Höhe herabgesunken sein wird, desto sicherer mit den Kreuzfäden zu erreichen. Nach einer gewissen Zeit wird er gerade in die Höhe des Kreuzungspunktes der Fäden gekommen sein und von diesem gedeckt werden. In diesem Moment ziehe man die Bremsschraube des Horizontalkreises an, stelle den Kreis fest und lese den Nonius ab. Die erste Ablesung, von dieser abgezogen, giebt die Azimuthalveränderung, die der Stern während der Beobachtung gemacht hat; in der Mitte dieses Bogens culminirte er. Man dividire also den zwischen den gleichen Höhen vom Stern durchlaufenden Bogen durch 2 und stelle den Nonius auf die vom Quotienten angezeigte Gradzahl ein, so hat man die wahre Richtung des astronomischen Meridians am Beobachtungsorte. Um die Größe der magnetischen Abweichung zu bekommen, stelle man die vom Limbus abgelesene Gradzahl für den magnetischen Meridian und die für den astronomischen Meridian zusammen, subtrahire die kleinere von der größeren, so giebt die Differenz die Größe der Abweichung; ob sie östlich oder westlich sei, hängt davon ab, welche der beiden Ablesungen die größere sei: war die Ablesung für den magnetischen Meridian die größere, so ist die Abweichung westlich, im entgegengesetzten Fall östlich, wenn, wie es gewöhnlich der Fall, die Theilung des Limbus, vom Centrum aus gesehen, wie der tägliche Lauf der Gestirne, von links nach rechts geht.

Das Inclinatorium. Um die Inclination der Magnetnadel

zu messen, bedient man sich einer Nadel, welche in der durch den magnetischen Meridian gelegten Verticalebene schwingen kann. Zwar haben wir schon oben (S. 425, Fig. 478) die Aufhängung einer Nadel angegeben, welche dieser Bedingung genügt, sie war aber nicht darauf eingerichtet, messende Versuche damit anzustellen. Hiezu dient nun das durch (Fig. 490) versinnlichte Instrument. Auf einem Fuß mit drei Stellschrauben a, a, a ruht eine starke Messingsäule S, welche einen getheilten Horizontalkreis H H trägt. Die verticale Säule S ist ihrer Länge nach durchbohrt; die Bohrung nimmt einen Zapfen auf,

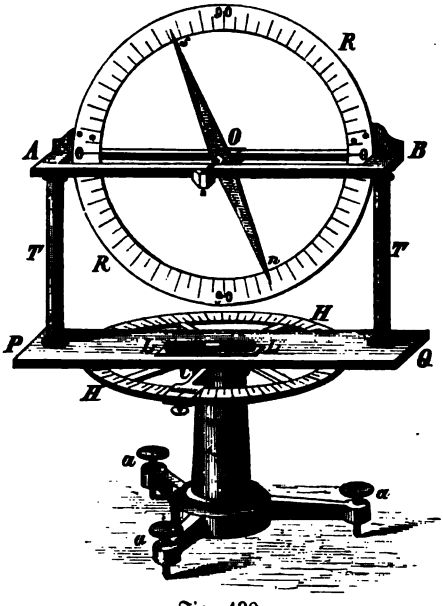


Fig. 490.

der die ganze obere Vorrichtung trägt, welche sich dann mit sanfter und gleichmäßiger Bewegung auf dem getheilten Kreis herumdrehen läßt. Mit dem Zapfen steht die Platte P Q in fester Verbindung, mit dieser die Alhidade C, welche somit bei der Bewegung der Platte über die Theilung des Kreises fortgleitet. Die Alhidade hat einen Nonius und kann durch eine Bremsschraube an jeder beliebigen Stelle der Theilung festgemacht werden. Auf der Platte PQ befindet sich die Röhrenlibelle LL, um danach und mit den Fußschrauben dem ganzen Instrument die richtige Stellung zu geben. Die Platte trägt ferner die zwei Säulchen TT, über welche die der Länge nach durchbrochene Platte A B gelegt nnd festgeschraubt ist; sie nimmt den getheilten Verticalkreis RR auf. In der Mitte O, genau senkrecht über der Achse des Central-

zapfens, sind in beiden Hälften von AB die Lager für die Drehungsachse der Magnetnadel n s angebracht. Die Achse der Nadel ist cylindrisch und ruht auf zwei ebenen und horizontalen Achatplättchen. Am verticalen Kreis ist jeder Quadrant für sich in 90 Grade eingetheilt, während auf dem Horizontalkreis die Theilung von 0 bis 160° fortläuft.

Mit diesem Instrument läßt sich die magnetische Inclination leicht bestimmen, vorausgesetzt, daß die Nadel leichte Beweglichkeit habe und ihre magnetische Achse mit der geometrischen zusammenfalle. Um die nie ganz zu vermeidende Reibung besser zu überwinden, wird man der Nadel eine möglichst große Länge, also dann dem Verticalkreise einen eben so großen Durchmesser geben. Um einen möglichen Fehler in der Lage der magnetischen Achse unschädlich zu machen, sollte man nach jedem Versuche die Nadel umkehren, d. h. die Seite der Drehungsachse,

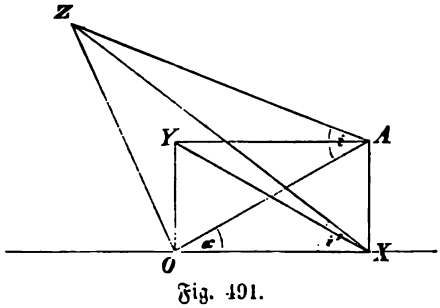


Fig. 491.

welche oben lag, nach unten kehren und den Versuch mit der so umgekehrten Nadel wiederholen. Nimmt man dann das arithmetische Mittel beider Resultate, so wird das Endresultat von dem Einfluß der schiefen Lage der magnetischen Achse unbeeinflußt sein.

Damit aber die Nadel die richtige Neigung annehme, muß sich ihre Schwingungsebene im magnetischen Meridian befinden. Wie wir gleich nachher zeigen werden, ist dies hier leicht zu bewirken. Man stelle nämlich das Inclinatorium vermittelst der Libelle und der Fußschrauben so, daß der Horizontalkreis genau horizontal wird, so wird der Verticalkreis in die Verticalebene fallen; drehe dann diesen letzteren Kreis sammt der Platte PQ auf dem Horizontalkreis herum, bis die Nadel sich senkrecht stellt: die Neigung ist dann die größtmögliche, nämlich = 90° und die Schwingungsebene der Nadel steht senkrecht zum magnetischen Meridian; man lese dann den Nonius des Horizontalkreises ab und drehe den Verticalkreis um genau 90°, so wird dieser mit dem magnetischen Meridian zusammenfallen und die Nadel die richtige Neigung zeigen.

Es sei (Fig. 491) ZA die erdmagnetische Kraft der Größe und Richtung nach; man zerlege sie in die verticale Kraft ZO und die hori-

zontale OA; der Winkel ZAO ist dann die magnetische Neigung; wir bezeichnen sie künftig mit i. Bezeichnet nun J die volle magnetische Kraft ZA, so ist:

$$OZ = J. \sin i \text{ und } OA = J. \cos i.$$

Die Kraft OA läßt sich in der Horizontalebene wieder in zwei auf einander rechtwinklige Kräfte OX und OY zerlegen; heißt α der Winkel AOX, den OX mit OA macht, so ist;

$$OX = OA. \cos \alpha = J. \cos i. \cos \alpha,$$
$$OY = OA. \sin \alpha = J. \cos i. \sin \alpha.$$

Die Ebene ZOA ist aber die des magnetischen Meridians, ZOX also eine Ebene, welche mit dem Meridian den Winkel α bildet. Befindet sich der Verticalkreis des Inclinatoriums (also die Schwingungsebene der Nadel) in dieser letzteren Ebene, so hat die Nadel die Neigung ZXO; sie werde mit i' bezeichnet; dann ist:

$$tg\, i' = \frac{OZ}{OX} = \frac{J. \sin i}{J. \cos i. \cos \alpha} = \frac{tg\, i}{\cos \alpha}$$

und diese Gleichung bestimmt die magnetische Neigung in einer Ebene, die mit dem magnetischen Meridian den Winkel α macht. Sie ändert sich mit α, wird größer, wenn α größer wird; für $\alpha = 90^0$ ist $tg\, i' = \frac{tg\, i}{0} = \infty$, also $i' = 90^0$. In einer zum magnetischen Meridian senkrechten Ebene ist die Neigung $= 90^0$, also das oben angegebene Verfahren zur Bestimmung der Meridianebene gerechtfertigt.

Hat man für irgend einen Abweichungswinkel α vom magnetischen Meridian die Neigung i' am Inclinatorium beobachtet, so ist, wie eben gezeigt:

$$tg\, i' = \frac{tg\, i}{\cos \alpha}$$

wenn i die wahre Neigung ist; für eine Schwingungsebene, die zu dieser senkrecht steht, also mit dem magnetischen Meridian den Winkel $90^0 - \alpha$ macht, ist, wenn i'' die Neigung in dieser Ebene bezeichnet:

$$tg\, i'' = \frac{tg\, i}{\sin \alpha};$$

Aus diesen beiden Zusammenstellungen leitet man leicht diese andere ab:

$$\frac{1}{tg\, i^2} = \frac{1}{tg\, i'^2} + \frac{1}{tg\, i''^2}$$

wonach man also die wahre Neigung findet, wenn man die Neigung in zwei auf einander senkrechten, sonst beliebigen Ebenen bestimmt hat.

XIV. Reibungselektricität.

1. Einfachste elektrische Erscheinungen.

Um die allererſten elektriſchen Erſcheinungen zu zeigen, bedient man ſich einer Glasröhre von etwa 2 bis 2,5 cm. Dicke, die man mit einem Stück Tuch oder Seidenzeug reibt. Im Winter iſt es rathſam, dieſe Körper am Ofen etwas zu erwärmen, um Waſſerdämpfe, die ſich darauf geſetzt haben mögen, zu vertreiben. Außer der Glasröhre ſollte man auch noch eine Stange Schellack, Schwefel und ein Stück Bernſtein zu gleichem Zwecke bereit halten. Legt man dann auf den Tiſch, oder auf eine Metallplatte mehrere kleine Körperchen, Papierſchnitzelchen, Strohhälmchen, kleine Hollundermarkkügelchen von höchſtens 2 mm. Durchmeſſer und nähert ihnen den mit dem Zeug geriebenen Körper, ſo werden ſie davon angezogen und meiſt auch wieder davon abgeſtoßen, nachdem ſie mit dem Tiſch oder mit der Metallplatte in Berührung gekommen.

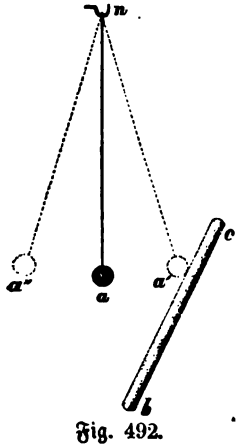


Fig. 492.

Fig. 493.

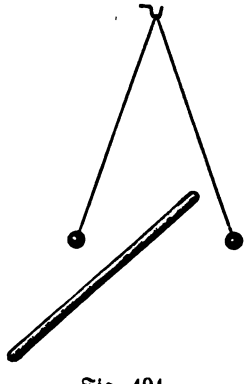


Fig. 494.

Viel deutlicher zeigt ſich das Anziehen und Abſtoßen durch einen elektriſchen Körper, wenn man ein Hollundermarkkügelchen a (Fig. 492) an einen Seidenfaden hängt und ihm dann eine geriebene Glasröhre oder Schellackſtange bc nähert. Es fliegt ſofort nach dem durch Reiben elektriſch gewordenen Körper hin und wird ſogleich wieder mit großer Heftigkeit zurückgeſtoßen; von a fliegt es nach a', dann zurück nach a''. Man hat zum Aufhängen ſolcher Kügelchen auch wohl beſondere Stative; ſie beſtehen aus einem Fuß, in dem ein ſtarker Draht ſenkrecht eingeſteckt iſt, der oben ſeitwärts gekrümmt und am Ende zu einem Haken gebogen iſt. Wir hängen den Faden an einen Haken n des Arms an der Halterſtange.

Befestigt man an jedes Ende eines Seidenfadens ein Hollundermarkkügelchen und hängt den Faden mit seiner Mitte an einen Haken (Fig. 493), so hängen die Kügelchen dicht neben einander herunter; nähert man ihnen aber eine geriebene Glas- oder Harzstange, so gehen sie auseinander, wie (Fig. 494); hält man die Stange zwischen ihnen, so entfernen sie sich weit von einander und bleiben auch noch von einander entfernt, wenn man die Stange zurückzieht; die Kügelchen stoßen einander ab.

Mit dem Apparat (Fig. 495) zeigt man dieselbe Eigenschaft electrischer Körper. Auf einem Messingfuß ist eine Hülse a angebracht, in diese ein Glasstab b eingekittet, auf den oben eine kegelförmige Spitze s von Stahl aufgesetzt ist; cd ist ein Streifchen Messing in der Form einer Magnetnadel, an den Enden sind Messingkügelchen daran gelöthet. In der Mitte hat diese Nadel ein Hütchen e mit einer Stahl- oder Achatplatte. Setzt man sie mit dem Hütchen auf die Stahlspitze

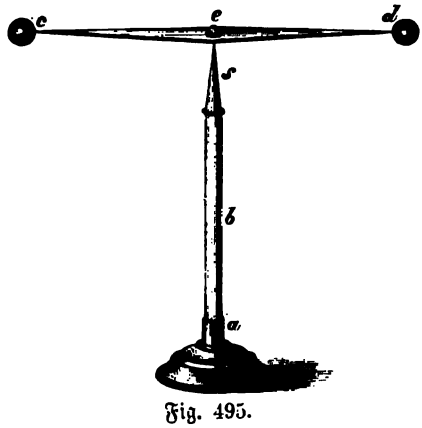


Fig. 495.

Fig. 496.

und nähert dem einen Kügelchen einen elektrischen Körper, so wird das Kügelchen davon angezogen, die Nadel dreht sich nach diesem Körper hin, wird aber sofort wieder davon zurückgestoßen, die Nadel macht eine Drehung in entgegengesetzter Richtung. Daß das zweite Kügelchen nur da ist, um das Gleichgewicht herzustellen, sieht man ein. Hat man sich bei dem Versuche einer geriebenen Glasröhre bedient und nähert dem davon abgestoßenen Kügelchen nun eine geriebene Harzstange, so wird es davon angezogen, was zum Beweise dient, daß entgegengesetzt elektrische Körper sich anziehen. Dieser Versuch kann auch dazu dienen, nachzuweisen, daß es überhaupt zwei verschiedene elektrische Zustände giebt: was im einen Zustande angezogen wird, wird im anderen abgestoßen.

Bei manchen Versuchen ist das Probescheibchen (Fig. 496) zweckmäßig zu gebrauchen, z. B. um durch Berührung mit einem electrischen

Körper es mit Elektricität zu laden und am Elektroskop zu prüfen, indem es sich um so stärker laden wird, je mehr Elektricität auf dem damit in Berührung gebrachten Körper angesammelt ist. Es besteht aus einem Messingplättchen, an welches man ein dünnes Glas- oder Schellackstäbchen angekittet hat. Das Plättchen wird rund gedreht und eben gemacht, der kreisförmige Rand ebenfalls ringsum abgerundet, so daß er keine scharfen Kanten behält. Man wendet es an, wenn die Elektricität des zu prüfenden Körpers zu stark wäre, um ihn dem Elektroskop zu nähern, oder wenn seine Form dies nicht wohl gestattet, oder wenn man einzelne Theile desselben auf die daselbst vorhandene Elektricität prüfen will. Auf kugelförmigen Körpern sammelt sich die Elektricität überall mit gleicher Dichtigkeit an; aber auf Körpern, die vorstehende Theile haben, ist sie auf diesen dichter als auf jenen, die nicht vorragen; um solche Theile zu prüfen, bedient man sich des Probescheibchens. Ein recht glatt gedrehtes Metallkügelchen, an einem Seidenfaden hängend, würde übrigens dieselben Dienste thun.

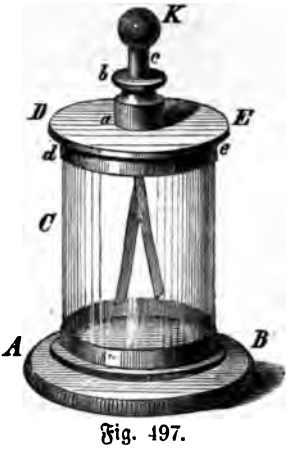


Fig. 497.

Theils zur Erkennung, theils zur Vergleichung der Elektricitäten ihrer Intensität nach bedient man sich des Elektroskops. Wir stellen hier das von Bennet construirte Goldblattelektroskop dar. Auf einem hölzernen Fuß AB (Fig. 497) ist ein Glascylinder C in einen eingeschnittenen Falz eingekittet; oben ist ein messingener Deckel DE mit vorstehendem Rand auf das Glas aufgekittet; de ist der Messingrand, der in das Glas eingreift. Die Platte DE ist stark im Metall und in der Mitte schwach konisch zulaufend durchbohrt; in die Bohrung paßt der messingene Konus ab, welcher wieder der Länge nach durchbohrt ist; in diese Bohrung ist ein Glasröhrchen c, in dieses ein starker Metalldraht eingekittet, auf den die Kugel K aufgeschraubt ist. Glasrohr und Draht reichen bis innerhalb des Glascylinders, letzterer ist noch etwas länger als das Rohr und am Ende an zwei entgegengesetzten Seiten abgefeilt. An diese Flächen werden zwei zu länglichen Rechtecken geschnittene echte Goldblättchen mit etwas Gummi angeklebt, so jedoch, daß die Blättchen den Messingdraht außer den Klebestellen auch sonst noch metallisch berühren, weil der Gummi die Leitung der Elektricität hindern könnte. Zu diesem Zwecke werden die oberen Enden frei von Gummi gelassen und nachgehends an den Draht angedrückt. Die Blättchen müssen, so lange sie unelektrisch sind, schön parallel neben einander hängen.

Das Anheften der Blättchen ist mit einigen Schwierigkeiten ver-

bunden, da das leichte Goldblatt jedem leisen Luftzug ausweicht und davon fliegt. Man schneidet es zwischen dem Papier, in welchem man es im Handel bekommt, und mit diesem zugleich mit einer scharfen Scheere, oder, wie die Buchbinder, mit einem Messer auf einem Lederballen; letzteres erfordert aber mehr Uebung, auch dürfte der Physiker nicht leicht den nöthigen Ballen zur Hand haben. Die Blättchen müssen der ganzen Länge nach durchaus gradlinige Ränder haben, da die geringsten vorstehenden Theile das Auseinandergehen verhindern würden.

Will man versuchen, ob ein Körper elektrisch sei, so nähert man ihn der Kugel K; ist er elektrisch, so divergiren die Blättchen vermöge gleichnamiger Elektricität. Um die Art der Elektricität des Körpers zu prüfen, nähert man der Kugel K gleichzeitig eine geriebene Siegellack- oder Schellackstange, welche bekanntlich immer negativ elektrisch ist; gehen die Blättchen bei Annäherung der Harzstange zusammen, so hatte der Körper positive, gehen sie dagegen weiter auseinander, so hatte er negative Elektricität.

Die Goldplättchen treffen, wenn sie divergiren, zuweilen auf die Glasfläche des Cylinders und haften daran, theils wegen elektrischer Anziehung, theils durch Adhäsion, da das Glas immer etwas atmosphärische Feuchtigkeit auf seiner Oberfläche ansammelt. Wenn man die Kugel mit dem Finger ableitend berührt, so müßten die Blättchen, wenn die Elektricität der einzige Grund des Haftens wäre, sofort vom Glase abfallen; dies ist oft nicht der Fall; daher muß noch eine andere Kraft sie festhalten, also wahrscheinlich Adhäsion in Folge von Feuchtigkeit. Um gegen diesen Uebelstand gesichert zu sein, nehme man die Blättchen nicht so lang, daß sie das Glas erreichen können, aber, da zu kurze Blättchen nur in einem zu kurzen Bogen divergiren können, den Cylinder recht weit. Ein bauchiges Glas verhindert ebenfalls das Anschlagen der Blättchen.

Die oben beschriebene Einrichtung des Instruments gestattet, die Blättchen, wenn sie am Glas haften, durch Drehen des Kegels ab wieder frei zu machen, auch sie zu etwa erforderlicher Aenderung herauszunehmen, ohne den Deckel abzuheben.

2. Elektrische Influenz.

Die Influenz oder Vertheilung der Elektricität kann durch den in (Fig. 498) dargestellten Apparat zur Anschauung gebracht werden. Auf dem Fuße A steht, in eine Hülse c eingekittet, der massive Glasstab C, der bei B eine messingene Fassung hat. Auf die Fassung B ist der hohle messingene Cylinder DE aufgelöthet, dessen Enden halbkugelförmig abgerundet sind. Gegen die Enden hin sind Paare kleiner Hollundermarkkügelchen a b mittelst leinener (leitender) Fäden angebunden. Damit der Fuß diesen immer etwas schweren Cylinder sicher trage, muß er so schwer wie möglich gemacht werden; Gußeisen dürfte deßhalb am geeignetsten sein. Wenn es mit

Asphaltlack überzogen wird, so sieht es auch nicht ganz schlecht aus. Man könnte dem Cylinder auch zwei Träger geben, wo dann diese Rücksicht nicht nöthig ist, die Füße A also aus polirtem Holz gemacht werden können. F ist eine quadratische Tafel aus Spiegelglas, G eine hohle Messingkugel; beide stehen auf eben solchen Trägern wie DE, nur können hier die Füße immer aus polirtem Holze bestehen, da ein Wanken und Umkippen hier nicht zu befürchten steht. Statt der Kugel G kann man auch blos eine Glas- oder Lackstange benutzen, die man dann einfach in der Hand hält.

Die Kugel G wird elektrisch gemacht, etwa dadurch, daß man vom Conductor einer Elektrisirmaschine einen Draht nach der Fassung e herüberleitet, oder vom Deckel eines Elektrophors einen Funken auf G überspringen läßt. Macht man den Versuch ohne die Kugel, mit einer geriebenen Harz- oder Glasstange, so hält man diese an die

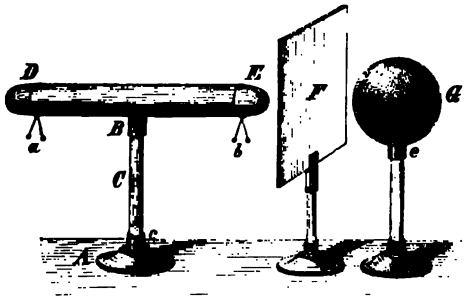


Fig. 498.

Stelle, wo in der Figur die Kugel steht, auf der vom Cylinder DE abgekehrten Seite der Glastafel F. Allemal wird man bemerken, daß die Kugelpaare a und b divergiren, und wenn man den elektrischen Körper entfernt, sofort wieder zusammenfallen, die Fäden parallel herunterhängen. Untersucht man die Art der Elektricität der Kügelchen a und b, indem man ihnen eine geriebene Schellackstange nähert, so zeigt sich, daß die Kügelchen a die dem elektrischen Körper bei G gleichnamige, die Kügelchen b die dieser entgegengesetzte Elektricität haben. Hängt man in der Mitte des Cylinders DE eben solche Kügelchen an, was freilich nur bei der Einrichtung mit zwei Ständern angeht, so zeigen sich diese Kügelchen stets unelektrisch. Die Glasscheibe F ist bei diesem Versuche durchaus nöthig, da ohne sie Elektricität direct von der Kugel G (oder von dem statt ihrer gebrauchten elektrischen Körper) auf den Cylinder übergeht, der ganze Cylinder DE sich also mit G gleichnamig ausweist.

In neuerer Zeit wird gewöhnlich der Influenzapparat von Peter Rieß gebraucht. (Fig. 499) stellt denselben vor. Auf einem breiten

Holzfuß AB ist ein Glasständer CD befestigt, auf dem sich drei Messinghülsen E, F, G verschieben und durch Schrauben feststellen lassen. In die Hülsen E, F, G sind Glasstücke d, e, f eingekittet, welche an den entgegengesetzten Enden wieder Messinghülsen tragen, an deren eine der an den Enden abgerundete Messingstab ab angelöthet ist; die zweite trägt die Glasscheibe G, die dritte die hohle Messingkugel K. Zur besseren Isolirung sind die Glasstäbe CD, d, e und f mit Schellack-Lösung überzogen.

Der Kugel K wird die eine Art Elektricität mitgetheilt, z. B. positive; dies kann in derselben Weise geschehen wie beim vorigen Ap-

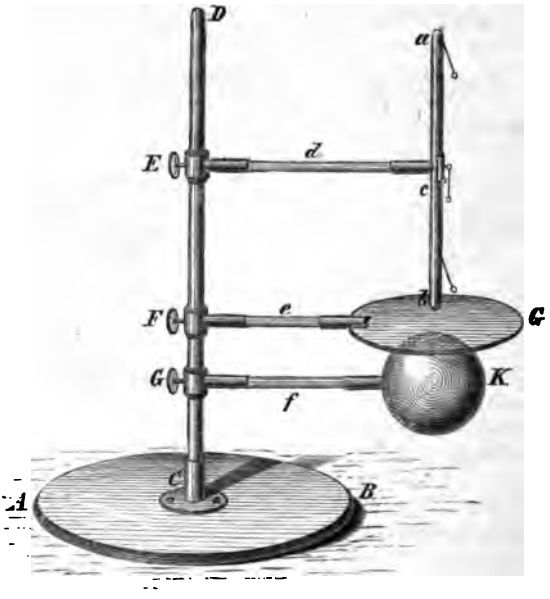


Fig. 499.

parat; die Glasscheibe G wird einen Uebergang der Elektricität auf den Metallstab ab verhindern; dennoch werden sich die Enden a und b desselben elektrisch zeigen, wie man sich schon vermittelst eines Probescheibchens überzeugen kann. Einfacher werden diese Elektricitäten zur Wahrnehmung gebracht, wenn man bei a und b einfache Pendel an leitenden Fäden anbringt; sie werden von der Stange ab abgestoßen werden und ein Versuch mit einer geriebenen Schellackstange zeigt, daß, wenn K positiv elektrisch ist, das Kügelchen b von der Harzstange abgestoßen wird, also negativ ist, dagegen a angezogen wird, also positiv ist. In der Mitte des Stabes ab wird auch ein Kügelchen angehängt, um die Indifferenzzone nachzuweisen, die sich immer um die Mitte herum

bildet. Ihre Lage ist aber je nach der Entfernung der Kugel K verschieden, innerhalb der der Kugel K zugewendeten Hälfte des Stabes gelegen, und rückt nach der Mitte hin, wenn man die Kugel K weiter entfernt. Man bringt deshalb das mittelste Kügelchen c an ein verschiebbares Plättchen an, so daß es sich aber immer in der unteren Hälfte des Stabes ab befindet.

Berührt man, wenn der Stab ab durch Influenz elektrisch geworden, denselben an irgend einer Stelle, so leitet sich dadurch nur die dem influirenden Körper gleichnamige Elektricität ab, die entgegengesetzte bleibt zurück, da sie durch die des genäherten Körpers gebunden ist; entfernt man nun aber diesen, so wird sie frei, also wahrnehmbar. Derselbe Versuch läßt sich natürlich auch mit dem Apparat (Fig. 498) anstellen.

3. Einfachere, auf der Influenz beruhende Apparate.

Der Elektrophor (Fig. 500) besteht aus einer kreisförmigen Schüssel AB von Weißbleich, deren Rand höchstens 1 cm. hoch ist; der Durchmesser ist beliebig, von etwa 2 dm. an aufwärts von jeder Größe. In diese Schüssel wird ein Harzkuchen C gegossen; die Masse desselben kann verschieden zusammengesetzt sein; im Allgemeinen sind es Harze, welche die wirksamen Bestandtheile ausmachen, Schellack, Kolophonium, Mastix; da diese Harze aber sehr spröde sind, so würde ein aus ihnen allein gegossener Kuchen Risse bekommen, wenn die Schüssel durch Temperaturerniedrigung an Durchmesser und Umfang abnimmt. Man setzt daher, um das Springen der Masse zu verhüten, einige erweichende Stoffe zu, wie Terpentin und Wachs.

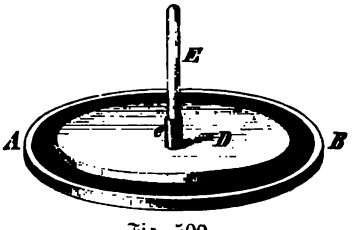


Fig. 500.

Die elektrische Wirkung wird durch diese letzteren Substanzen beeinträchtigt, man muß daher nicht mehr davon nehmen, als gerade für den vorliegenden Zweck nöthig ist. Der Erfahrung gemäß liefern folgende Mischungen eine gute Masse: 5 Th. Schellack, 3 Th. Mastix, 2 Th. venetianischen Terpentin; oder 5 Th. Schellack und 1 Th. Wachs oder Terpentin; oder 3 Th. Terpentin, 2 Th. Kolophonium und 1 Th. Wachs. Es sollen auch gleiche Theile schwarzer Pech und Kolophon eine brauchbare Masse geben. Die Dicke des Kuchens sollte möglichst gering sein, nur 5—6 mm.

Um die Kuchen zu gießen, nehme man einen neuen irdenen Topf, zerbreche die festen Materialien, falls sie größere Massen bilden sollten, in kleine Stücke, bringe die weichen, wie Wachs und Terpentin, in das Gefäß, erwärme sie zum Schmelzen und setze nach und nach kleine Mengen der festeren Stoffe, Schellack, Pech ꝛc. zu, erwärme vorsichtig weiter, ohne die Masse weiter zu erhitzen, als gerade zum Flüssigmachen

des Schellacks nöthig ist. Von Anfang an und während der ganzen Dauer der Operation rühre man die Masse mit einem hölzernen Spatel um, damit sich alle Bestandtheile innig vermengen. Wenn Alles geschmolzen und innig vermengt ist, gieße man die flüssige Masse in die genau horizontal gestellte Form und lasse sie erkalten.

Zuweilen zeigen sich auf der Oberfläche des kalt gewordenen Kuchens Blasen. Solche werden mittelst eines glühend gemachten und in eine Zange gefaßten Eisens, das man dicht darüber hält, nachgebessert; aber gewöhnlich bleibt hiebei an der Stelle doch eine Vertiefung. Man gelangt viel sicherer zum Ziel, wenn man die Form auf einen eisernen Dreifuß setzt und in einem Kohlenbecken glühende Kohlen darunter bringt. Damit dann aber die Form sich nicht auflöthe und auseinander gehe, muß sie außer dem Löthen noch durch Niete zusammengehalten werden. Wenn dann die flüssige Masse eingegossen ist, wird sie durch die Kohlen viel länger flüssig erhalten und die Luftblasen haben Zeit, in die Höhe zu steigen und davon zu gehen, wo dann die Höhlungen von selbst zufließen.

Als Deckel des Elektrophors verwendet man eine kreisrunde Blechplatte D, deren Rand ringsum nach einer Seite umgebogen ist; die Scheibe hat einen um $4^{cm.}$ kleineren Durchmesser als der Kuchen. In der Mitte wird eine Hülse c aufgelöthet, in welche man den Glasstab E einkittet.

Der Elektrophor ist so zum Gebrauche fertig. Beim Gebrauche peitscht man den Kuchen mit Pelz (Katzenfell, Fuchsschwanz u. s. w.), so wird die Oberfläche negativ elektrisch; setzt man dann den Deckel auf, so wirkt die negative Elektricität des Kuchens durch Influenz (vertheilend) auf die natürlichen Elektricitäten des Deckels, zieht die positive nach der unteren Seite und stößt die negative nach der oberen ab; erstere wird gebunden und so gegen Ableitung gesichert; die negative der oberen Fläche des Deckels dagegen bleibt frei und kann daher durch einen berührenden Körper abgeleitet werden; es geschieht dies durch einen Funken, wenn man den Finger dem Deckel nähert. Hebt man, nachdem die freie negative Elektricität abgeleitet worden, den Deckel beim isolirenden Griff auf, so daß er in größere Entfernung vom Kuchen kommt, so wird die Wirkung der negativen Elektricität des Kuchens auf die positive des Deckels durch die größere Entfernung geschwächt, die positive des Deckels wird frei und kann nun ebenfalls abgeleitet werden. Bei der Annäherung eines Leiters erhält man ein Fünkchen.

Daß die Electricitäten, welche hier auftreten, wirklich die sind, welche aus der theoretischen Betrachtung hervorgehen, davon überzeugt man sich mittelst des Probescheibchens und des Elektroskops auf die oben angegebene Weise sehr leicht. Daß diese Elektricitäten keine mitgetheilten, sondern die aus der Influenz hervorgegangenen sind, folgt auch noch daraus, daß, wenn man den Deckel aufhebt, ohne ihn berührt zu haben, er sich unelektrisch erweist; die beiden entgegengesetzten Elektricitäten haben sich also wieder vereinigt, neutralisirt.

Legt man den Daumen der einen Hand auf die Schüssel und dann den Zeigefinger auf den Deckel, so erhält man eine Erschütterung in dem dazwischen liegenden Gelenk. Diese Erscheinung erklärt sich durch die auch anderweitig gerechtfertigte Annahme, daß Influenz auch in dem nichtleitenden Kuchen entstehe. Die negative Elektricität der Kuchenoberfläche trennt die natürlichen Elektricitäten der darunter liegenden Harzmasse, zieht die positive an und stößt die negative ab. Da der Kuchen auf der leitenden Schüssel liegt, so leitet sich die negative durch diese ab, die positive breitet sich auf einen weiteren Raum aus, reicht sogar bis an den Boden der Schüssel, wird aber nicht abgeleitet, wenn der Kuchen nicht sehr dick ist, weil sie von der negativen der Oberfläche festgehalten wird. Wenn freilich die Dicke des Kuchens eine gewisse Größe übersteigt, so wird die Entfernung so groß, daß die negative der Oberfläche nicht mehr anziehend auf diese positive wirken kann, weshalb dann die ganze erwähnte Erscheinung nicht stattfindet. Bei einem nur dünnen Kuchen aber hat also die Schüssel positive Elektricität und die obere Fläche des Deckels negative; da die positive der Schüssel nur schwach gebunden sein wird, so muß sie sich durch das Handgelenk schnell mit der freien negativen des Deckels verbinden, was dann die erwähnte Erschütterung hervorbringt. Würde man erst den Deckel, dann die Schüssel berühren, so bekäme man bloß den Funken aus dem Deckel, und weil dann dieser entladen, also keine freie negative Elektricität mehr da wäre, mit der sich die positive der Schüssel verbinden könnte, so würde auch nichts weiter erfolgen. Und daraus, daß bei der ersten Art, den Versuch anzustellen, die Erschütterung erfolgt, bei der anderen dagegen nicht, läßt sich schließen, daß die positive Elektricität der Schüssel in einem gewissen Grade gebunden ist; sie läßt sich durch bloße Berührung mit dem Finger nicht ableiten, vereinigt sich aber sogleich mit der freien negativen des Deckels.

Der Condensator besteht aus zwei ganz gleichen ebenen, kreisförmigen Messingplatten, deren Ränder abgerundet sind; die eine ist auf einem Glasständer A (Fig. 501) mit Fuß befestigt, an die andere ist ein Glasstab B befestigt, beide Platten sind auf jeder Seite gefirnißt. Zum Gebrauche werden die Platten auf einander gelegt, wie die Figur zeigt.

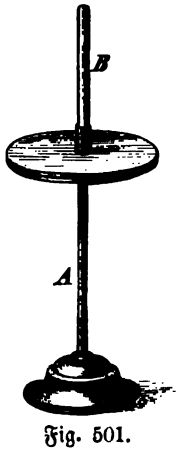


Fig. 501.

Man berühre die untere Fläche der unteren Platte mit einem Finger und theile unterdessen der oberen Elektricität etwa aus dem Deckel eines Elektrophors mit, wiederhole dann solche Mittheilung mehrere Male, indem man den Deckel immer wieder von Neuem durch den Kuchen sich laden läßt, und die untere Platte fortwährend mit dem Finger berührt; dann entferne man den Finger von der unteren Platte, hebe die obere Platte, sie beim isolirenden Glasgriff fassend, von der unteren ab und bringe sie an die

Kugel des Elektroskops; die Goldblättchen werden nach Maßgabe der Menge der der Platte mitgetheilten Elektricität divergiren. Prüft man die Art der Elektricität, so findet man sie übereinstimmend mit der der Quelle; die einzelnen der Condensatorplatte mitgetheilten Portionen Elektricität haben sich angesammelt, ohne sich, wie es bei einem einfachen, nicht zum Condensator eingerichteten Körper der Fall ist, an die Luft zu zerstreuen. Der Grund dieser Ansammlung ist die Influenz. Die der oberen Platte mitgetheilte Elektricität wirkte vertheilend auf die untere Platte, trennte die in ihr vorhandenen natürlichen Elektricitäten, band die ihr entgegengesetzte und stieß die gleichnamige durch den berührenden Finger nach der Erde ab: nachdem die in der unteren Platte vorhandenen Elektricitäten erschöpft waren, zog sie, ebenfalls durch den berührenden Finger, noch mehr ihr entgegengesetzte aus der Erde nach der unteren Platte und band sie; eine Ableitung der der oberen Platte mitgetheilten Elektricität durch die untere Platte und den berührenden Finger konnte nicht stattfinden, weil die Platten sich ebene Flächen zukehren und die Mittheilung zwischen ebenen Flächen sehr erschwert ist, dann aber auch, weil die isolirende Firnißschicht zwischen beiden Platten, sowie die dünne Luftschicht die Mittheilung unmöglich machen. Es konnte also nur Influenz eintreten, wobei die mitgetheilte Elektricität durch die ihr entgegengesetzte gebunden, die Zerstreuung also unmöglich gemacht wird. Hierdurch wird die Ansammlung der verschiedenen mitgetheilten Elektricitätsmengen möglich. Eine Wahrnehmung dieser gebundenen Elektricitäten ist nicht möglich, weil sie sich gegenseitig aufheben, wie ja auch die natürlichen, in jedem unelektrischen Körper vorhandenen, aber neutralisirten Elektricitäten nicht wahrgenommen werden können. Hebt man die obere Platte auf, so hört, wegen der Entfernung, in die die beiden entgegengesetzten Elektricitäten dadurch kommen, die Bindung auf, beide werden frei und können nun für sich der Prüfung unterworfen werden.

Fig. 502.

Man hätte auch die obere Platte mit der Erde in leitende Verbindung setzen und der unteren die Elektricität mittheilen können; die obere Platte hätte dann die der mitgetheilten entgegengesetzte Elektricität gehabt, während sie beim ersten Verfahren die gleichnamige hatte.

Der Condensator dient hauptsächlich dazu, schwache Grade der Elektricität aufzufinden und auf ihre Art zu prüfen, indem wiederholte Mittheilungen geringer Mengen derselben sich zu einer wahrnehmbaren

Intensität ansammeln. Da ist es denn zweckmäßig, den Condensator gleich mit dem Goldblattelektroskop zu verbinden. An die Stelle der Kugel dieses letzteren wird die untere oder Collectorplatte aufgeschraubt, wie (Fig. 502) es zeigt. Man wird hier die Mittheilungen an die untere Platte machen und die obere mit dem Finger berühren. Hebt man dann die obere Platte isolirt ab, so bleibt in der unteren die zu untersuchende Elektricität und giebt sich sogleich durch Divergenz der Goldblättchen zu erkennen.

4. Die Elektrisirmaschine.

Die Elektrisirmaschine hat seit ihrer Erfindung unzählige Umwandlungen und Verbesserungen erfahren; da wir keine Geschichte der Physik schreiben wollen, so interessirt es nicht, Instrumente zu beschreiben, die längst durch bessere ersetzt sind. Wir beschränken uns aus diesem Grunde darauf, auf zwei Arten dieses wichtigen Instruments näher einzugehen: die Winter'sche und die Holtz'sche Elektrisirmaschine; die erste hat sich ganz vorzüglich bewährt und verdient deshalb vor allen anderen unsere Berücksichtigung. Die Holtz'sche Maschine liefert ebenfalls große Mengen Elektricität, ist aber besonders der Beachtung werth, weil sie auf einem anderen Prinzip beruht als die bis dahin bekannt gewesenen Maschinen.

Winter'sche Elektrisirmaschine. Sie ruht auf einem starken Fußbrett AB (Fig. 503); dieses muß so angefertigt werden, daß es sich weder bei Temperatur-, noch bei Feuchtigkeits-Aenderungen der Luft verziehen kann, weil eine Krümmung des Fußbrettes den geordneten Gebrauch der Maschine geradezu unmöglich macht. Um dies zu verhüten wird das Brett aus drei Lagen zusammengesetzt und verleimt, so nämlich, daß bei der mittelsten Lage der Strich (die Faser) rechtwinklig zu den beiden anderen läuft. Um Raum und Gewicht möglichst zu vermindern, wird von diesem Brette Alles weggeschnitten, was zur Befestigung der darauf anzubringenden Ständer nicht unbedingt nöthig ist. Bei a, a, a, a erhält es geeignete Füße.

Zur Aufnahme der gläsernen Achse, an welcher sich die Scheibe S befindet, dienen die zwei Ständer CD und EF. Ersterer erhält einen fest damit verbunden Widerhalt w, um desto fester zu stehen, und wird auf dem Brett AB durch drei Zapfen befestigt, welche sowohl in das Fußbrett wie in den Ständer eingeleimt werden. EF ist ein massiver Glasstab, der in einen hölzernen Fuß gekittet ist; dieser trägt unten einen zur Schraube geschnittenen Zapfen, mit dem er durch eine Bohrung im Brette AB gesteckt wird; mit einer hölzernen, von Unten aufgeschraubten Mutter wird er völlig festgemacht. Der Kopf F ist wieder von Holz und auf den Glasstab aufgekittet. Die gläserne Achse GH ist an den Enden mit messingenen Fassungen versehen, an welche nach Außen Eisencylinder angelöthet sind; diese bilden die Zapfen der Drehachse. In EF bildet eine mit Metall ausgefütterte Bohrung das

Lager, während bei CD eine Höhlung oben auf dem Ständer als Lager dient; zur Sicherung wird hier ein Messingblatt übergelegt und festgeschraubt. An diesem Ende ragt der Eisencylinder etwas über den Ständer CD vor, um die Kurbel K aufzunehmen. Die Glasscheibe S hält 50 cm. oder mehr im Durchmesser und ist 7 mm. dick. Daß die beiden Oberflächen der Scheibe eben und mit einander parallel laufend geschliffen sein müssen, ist selbstverständlich. Die Hauptsache liegt in der Beschaffenheit des Glases, es darf die Elektricität absolut nicht

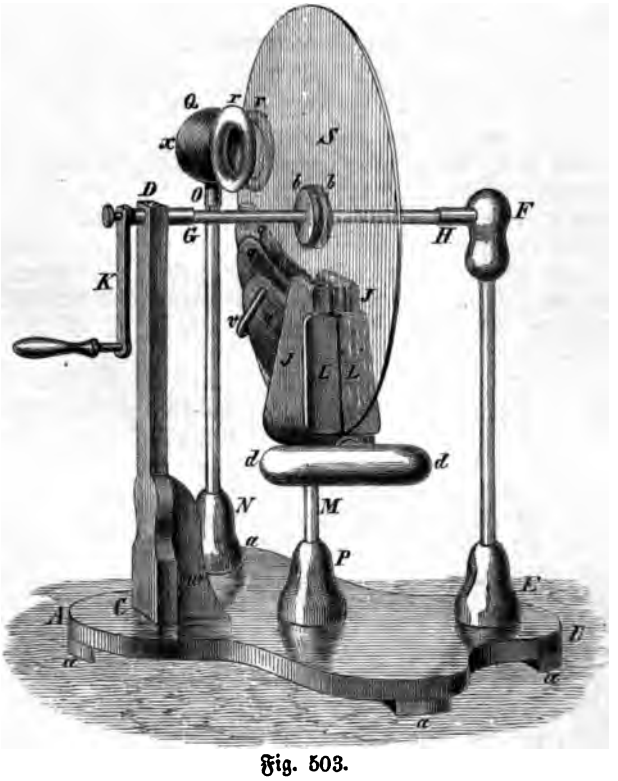


Fig. 503.

leiten. So z. B. ist Natronglas nicht zu gebrauchen. Man kann das Glas auf seine Fähigkeit zu isoliren prüfen, wenn man versucht, ob es einen galvanischen Strom, der zu einem empfindlichen Galvanometer geführt wird, leite. Indeß wird man selten in diesen Fall kommen, da man gewöhnlich die Maschine beim Mechaniker bestellt und sie eben so entgegennimmt, wie er sie liefert; es bleibt denn Nichts weiter übrig, als sie, fertig wie sie ist, auf ihre Wirkung überhaupt einer Probe zu unterwerfen und sie, wenn sie gerechten Anforderungen nicht entspricht,

zurückzugeben. Eine Elektrisirmaschine ohne die gehörige Leistungsfähigkeit ist für den Lehrer ein großes Hinderniß, da er nicht sobald die Möglichkeit hat, eine zweite anzuschaffen, man halte sich also ja nicht mit einem mittelmäßigen Exemplar auf.

Die Scheibe ist in der Mitte durchbohrt und zwar etwas weiter als die Dicke der gläsernen Achse; sie wird auf dieser durch zwei Wülste aus Buchsbaumholz b b befestigt, wovon der eine eine Schraubenspindel, der andere die Mutter dazu bildet; ersterer wird auf die Achse aufgekittet und zwischen die Scheibe und je einem Wulst wird eine weiche Lederscheibe gelegt. Sollte die Achse sich drehen, ohne die Scheibe mitzunehmen, so müßte man die Mutter fester anschrauben. Ein untrügliches Mittel dagegen ist, die Lederscheiben beiderseits mit dickem Terpentin zu bestreichen, der, wenn er fest geworden, nie wieder

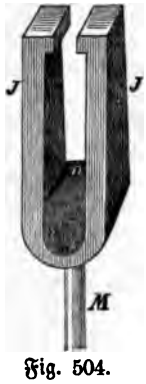


Fig. 504.

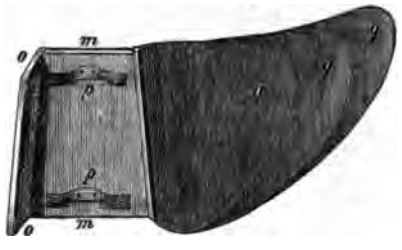


Fig. 505.

losläßt. Aber freilich hält es dann schwer, die Scheibe wieder von der Achse herunter zu nehmen, da man nicht wohl die Kittstellen erwärmen kann, weil dabei die Scheibe leicht zerspringen könnte. Meist erreicht man indeß den Zweck durch recht festes Anschrauben der Mutter.

Die Scheibe S muß nun, um elektrisch zu werden, beiderseits durch einen zweckentsprechenden Körper gerieben werden. Dieser Körper bildet das Reibzeug, welches in der Figur durch JJ und LL, in den (Fig. 504 und 505) aber noch besonders vorgestellt ist. Auf dem Holzfuß P, der in dem Fußbrette eben so wie E festgeschraubt ist, steht der kurze Glasstab M; dieser trägt den gabelförmigen Holzkörper JJ, welcher, in (Fig. 504) besonders gezeichnet ist. Der Ausschnitt dient dazu, die Reibkissen aufzunehmen. Ein Messingblatt nn' bildet den Boden des Ausschnittes, ist über die in (Fig. 504) sichtbare Fläche bis n' fortgeführt und führt die negative Elektricität der Reiber von beiden Seiten zu einer Bohrung c, in welche der Conductor dd (Fig. 503) der negativen Elektricität mit seinem kurzen Metallarm eingesteckt wird. Um die Leitung der negativen Elektricität des Reibkissens zur Platte nn' zu ermöglichen, ist auf den Rand des Kissens ein Metallblatt gelegt, welches mit der

Platte nn' in Berührung kommt. Ein Reibkissen ist durch (Fig. 505) dargestellt; es besteht aus einem Brettchen mm von viereckiger Gestalt, woran die Leiste o o senkrecht gegen die Ebene des Brettchens geleimt ist. An der Seite, die gegen die eine Backe oder Scheere J J anzuliegen kommt, sind zwei Messingfedern p p angeschraubt, auf der anderen ist ein Lederkissen angebracht, welches durch die Federn p,p stark gegen die Scheibe S gedrückt wird, so daß eine innige Berührung zwischen dem Kissen und der Scheibe entsteht und, wenn diese gedreht wird, das Glas vom Kissen stark gerieben wird. Ein solches Reibkissen befindet sich auf jeder Seite der Glasscheibe. Um durch die Reibung Elektricität hervorzurufen, wird das Leder der Kissen mit einem Amalgam eingerieben. Zuerst reibt man etwas Cacaobutter auf das Leder, damit das Amalgam besser hafte, auf diese das feingeriebene Amalgam. Man hat mehrere Vorschriften für letzteres; nach erfahrenen Elektrikern hat sich indeß das Kienmayer'sche immer noch am besten bewährt. Es besteht aus 1 Th. Zinn, 1 Zink und 2 Quecksilber und wird bereitet, indem man das Zinn und Zink in einem Schmelztiegel oder eisernen Schmelzlöffel über Kohlenfeuer oder über der Bunsen'schen Gasflamme schmelzt, unterdessen auch das Quecksilber in einem besonderen eisernen Gefäße heiß macht, endlich, wenn die festen Metalle geschmolzen sind, sie zu dem heißen Quecksilber gießt; ließe man das Quecksilber kalt, so würde beim Zugießen der heißen Flüssigkeit das Quecksilber mit Heftigkeit aus dem Gefäß herausgeworfen. Mit einem eisernen oder hölzernen Spatel rührt man die Masse stark um, schüttet sie dann in einen Mörser und stößt sie zu einem feinen Pulver, so daß man beim Befühlen zwischen den Fingern kein Körnchen mehr wahrnimmt. Man wird wohl thun, die kleinen Mengen, die man auf einmal verwenden will, stets wohl vor dem Aufstreichen noch in einem Porzellanmörser wieder zu reiben. Mit einem breiten Messer streicht man so viel Amalgam auf beide Reibkissen, daß die Flächen in einer dünnen Schicht ganz davon bedeckt sind, und sorgt dafür, daß es überall gleichmäßig vertheilt wird, damit die Scheibe von allen Punkten der Reibzeuge berührt werde.

Um die durch Reiben auf der Scheibe erzeugte Elektricität gegen Zerstreuung an die Luft zu sichern, befestigt man an die Reibzeuge Lappen von Wachstafft q, q, q; man legt auch wohl zwei oder drei solcher Lappen über einander, die äußeren etwas kürzer als den unmittelbar an der Scheibe liegenden nehmend. Um diese Lappen, auch wenn die Scheibe nicht elektrisch ist, zum Anliegen an das Glas zu nöthigen, legt man eine Klammer v (Fig. 503) an; sie kann aus einem Stäbchen von spanischem Rohr bestehen, das man gabelförmig ausgeschnitten hat. Man muß sich hüten, die Glasscheiben verkehrt herumzudrehen, weil dann die Tafftlappen zwischen die Reibzeuge gerissen und dabei leicht zerstört werden. Die Scheibe wird immer rechts herumgedreht.

Auf dem Fußbrett AB ist noch der gläserne Ständer NO mit hölzernem Fuß ebenso befestigt wie M und EF. Er trägt den Conductor Q. Dieser besteht aus einer hohlen Messingkugel. Ihre Be-

festigung auf dem gläsernen Träger geschieht dadurch, daß an der betreffenden Stelle das Messing der Kugel durchbohrt ist, um eine nach Innen gerichtete Hülse aus demselben Metall aufzunehmen; die Hülse wird an den Rand der Bohrung angelöthet und auf den Glasstab aufgekittet. Eine eben solche Bohrung mit eingelötheter Hülse, nur enger als die erste, befindet sich auf der Vorderseite der Kugel Q, in der Verlängerung der Scheibenebene, etwas über die Stelle x hinaus (sie ist in der Zeichnung nicht zu sehen). In diese Bohrung wird, mittelst eines eingelötheten Messingstabes, eine kleine Kugel von etwa 1 cm. Durchmesser eingesteckt und kann, je nach Bedürfniß, weiter oder weniger weit, ja bis zur Berührung beider Kugeln eingeschoben werden.

Dieser Höhlung gerade gegenüber, nach der Scheibe zu, ist wieder eine Oeffnung mit Hülse in dem Conductor Q, dazu bestimmt, den Apparat aufzunehmen, welcher die Elektricität von der Scheibe auf den Conductor übertragen soll, und welcher die Saugvorrichtung heißt. Die Oeffnung ist hier viereckig, und nimmt einen parallelepipedischen Messingstab auf, an den nach Außen ein Querstäbchen befestigt ist, welches die zwei mit einander parallel laufenden Holzringe r, r trägt; zwischen diesen Ringen bewegt sich die Scheibe S; an den der Scheibe zugekehrten (inneren) Seiten ist in jeden Ring eine Rinne eingeschnitten, deren Boden mit Stanniol ausgelegt ist; die Stanniolbelegung ist auch bis zu dem in den Conductor gesteckten Stäbchen fortgesetzt. In die Rinne ist, durch die Stanniolbelegung hindurch, eine Reihe Metalldrähte eingesetzt, welche nach Außen hin, wo sie nahe an die Scheibe kommen, ganz spitz zugefeilt sind.

Dreht man die Scheibe S mittelst der Kurbel K, so wird sie durch die Reibung an den Kissen des Reibzeuges positiv elektrisch. Die Tafftlappen verhindern da, wo die Scheibe eben aus den Reibern heraustritt, bis zur Saugevorrichtung hin die Zerstreuung der Elektricität; die Reiber werden negativ elektrisch. Damit sich nicht sogleich wieder beide Elektricitäten vereinigen, muß die negative zur Erde abgeleitet werden. Wir haben schon gesehen, wie sie zum Conductor d d hingeleitet wird; um sie ganz zu entfernen, wird man nur nöthig haben, an diesen Conductor eine Metallkette anzuhängen, welche mit dem Fußboden, oder noch besser mit der metallenen Gasleitungsröhre in Berührung gebracht wird.

Wenn die elektrisch gewordenen Theile der Scheibe bei der Drehung der letzteren zwischen die Ringe r, r kommen, so wirkt die positive Elektricität der Scheibe durch Influenz auf die Spitzen der Ringe, zieht durch diese Spitzen die negative Elektricität des Conductors an und stößt die positive ab; die positive Elektricität der Scheibe wird also durch die entgegengesetzte, welche durch die Spitzen aus dem Conductor angezogen wird, neutralisirt, und der Conductor behält seine eigene positive als freie Elektricität, welche durch Näherung leitender Körper abgeleitet werden kann. Ist der Conductor entladen, so ladet er sich, bei fortwährender Drehung der Scheibe, sofort wieder.

Aus der kleinen Kugel des Conductors fahren bei dieser Maschine die Funken auch ohne Annäherung eines Körpers aus, ja sprühen mächtig in die Luft hinein, ein Beweis von der großen Intensität, welche die Elektricität auf dem Conductor bekommt. Nähert man dem Conductor einen Leiter, den man in der Hand hält, so erhält man Funken von 20$^{cm.}$ Länge; in der Hand empfindet man bei jedem Funken eine ziemlich heftige Erschütterung.

Der Conductor hat noch eine Höhlung oben; diese dient zur Aufnahme des sogenannten Funkenringes oder Condensators. Derselbe ist in (Fig. 506) vorgestellt und besteht aus einem Ring aus Eisendraht mit einem Stiel daran; das Ganze aber ist in Holz eingelegt; der Holzapparat wird aus zwei Hälften gemacht, die so ausgehöhlt werden, daß der Eisenring mit Stiel eingelegt werden kann; beide Theile werden sodann zusammengeleimt, der Stiel erhält am untern Ende noch einen Metallring, der mit dem inneren Draht in leitende Verbindung gesetzt wird. Mit diesem Ring wird der Apparat in die obere Höhlung des Conductors gesteckt. Durch diese Vorrichtung werden die Funken der Maschine bedeutend verändert: sie strömen nicht mehr von selbst aus, werden heller, intensiver, machen ein lauteres Geräusch und erregen heftigere Erschütterungen.

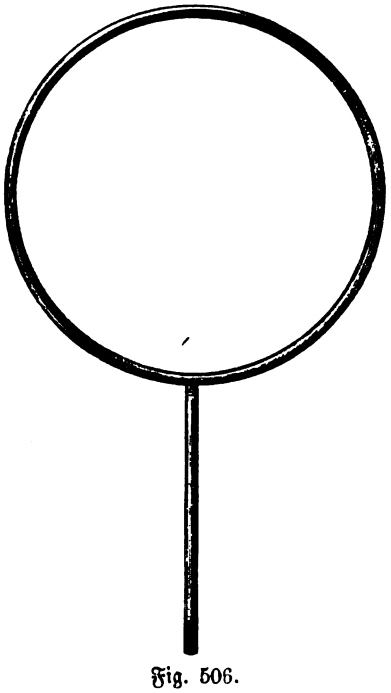


Fig. 506.

Es wurde oben darauf aufmerksam gemacht, daß man den negativen Conductor mit der Erde in leitende Verbindung setzen müsse, wenn man positive Elektricität aus dem Hauptconductor haben wolle. Umgekehrt muß man, wenn man negative Elektricität haben will, den (positiven) Hauptconductor mit der Erde leitend verbinden.

Wenn man mit der Maschine arbeiten will, so sollte man vor Allem alle Glastheile, auch die Scheibe, sorgfältig abreiben, um sie von Staub und Feuchtigkeit zu reinigen. Im Winter wird man am besten erwärmte Tücher dazu verwenden, weil die Feuchtigkeit dann leichter weicht. Wenn die Maschine längere Zeit gestanden hat, ohne gebraucht worden zu sein, wird sich, auch wenn sie zugedeckt gewesen, mehr oder weniger Staub auf allen Theilen angesammelt haben. Setzt

man dann sofort die Scheibe in Bewegung, ohne sie abgewischt zu haben, so legt sich der Staub auf den hinteren Kissenrand und findet seinen Weg auch zu dem Amalgam der Kissen, wo er die volle Wirkung der Maschine beeinträchtigen muß.

An der Scheibe bleiben zuweilen Theile des Amalgams kleben. Wenn diese sich stark vermehren, so wasche man die Scheibe mit etwas erwärtem (absolutem) Alkohol, oder mit Aether, den man nicht zu erwärmen braucht, ab; denn wo die Amalgammasse auf der Scheibe anklebt, kann keine Reibung zwischen Scheibe und Amalgam sein, also muß die Wirkung vermindert werden.

Während der Aufbewahrung der Maschine sorge man für möglichste Abhaltung des Staubes. In einen Schrank wird sie sich, auch wenn man den Funkenring abnimmt, nicht bringen lassen; das einfachste wird sein, sie mit einem Stück Zeug, das man unten zubindet, zu bedecken. Nichtsdestoweniger wird es vortheilhaft sein, sie von Zeit zu Zeit, auch wenn sie nicht gebraucht wird, zu reinigen.

Die Holtz'sche Influenzmaschine. Auf einem viereckigen Rahmen AB (Fig. 507) ruhen verschiedene Ständer, welche die einzelnen Theile der Maschine tragen. Zwei derselben tragen die horizontale Stahlstange ww', auf der die Rolle r mit Schnurlauf befestigt ist; r' ist eine doppelte Rolle, indem hinter der sichtbaren sich, fest damit verbunden, noch eine kleinere befindet, um welche die von r kommende Schnur ohne Ende gewunden ist. Um die größere r' dieses Rollenpaares geht abermals eine Schnur nach der kleineren Rolle r'', welche auf der Achse ab festsitzt. Dreht man die Kurbel k, so dreht sich die Achse ab mit einer Geschwindigkeit, die sich zu der der Kurbel, oder der Achse ww' verhält wie das Produkt der Radien der großen Rollen r und r' zu dem Produkt der Radien der beiden kleinen Rollen, nämlich der unsichtbaren hinter r' und der Rolle r''. Diese Geschwindigkeit vermehrt sich bei meiner Maschine auf das 4-fache. Eine leichte Handbewegung an der Kurbel k versetzt so die Achse ab in eine verhältnißmäßig große Geschwindigkeit. Auf der Welle ab ist die kreisförmige Glasscheibe CD durch die Schraubklemme c ebenso befestigt, wie bei der Winter'schen Maschine, nur daß hier diese Schraubklemme nicht aus Holz, sondern aus Ebonit (Hartgummi) besteht. Die Scheibe CD hat 40 cm. Durchmesser, besteht aus sehr dünnem Glase und ist auf beiden Seiten gefirnißt. Eine zweite, gleichfalls kreisförmige und gefirnißte Scheibe EF, deren Durchmesser etwa 5 cm. größer als der der ersten, hat in der Mitte einen runden Ausschnitt, der größer als die Klemmschraube c ist; sie ruht unten auf den Knöpfen d d von Ebonit und wird oben von eben solchem Knopfe e gehalten. Diese Knöpfe sind auf Stäbe von derselben Masse geschraubt, die wie die Figur zeigt, von eben so vielen, auf dem Fußrahmen ruhenden Ständern getragen werden. In die Knöpfe ist am Umfange ein Falz eingedreht, in den die Scheibe EF eingelegt wird. Die Scheibe wird der ersten CD möglichst nahe gebracht und parallel mit ihr gestellt; dies wird dadurch bewirkt,

daß man die Knöpfe d d und e nach und nach etwas hin und her schraubt, bis die verlangte Stellung der Scheibe erreicht ist. In dieser Lage bleibt die Scheibe feststehen. Der Arm, auf den der Knopf e aufgeschraubt ist, kann im Ständer G in einem Charnier in der Verticalebene bewegt werden und wird durch eine drehbare Klemmplatte festgehalten. Dreht man diese Platte und hebt den Arm, so kann man beide Scheiben sammt der Achse ab aus der Maschine herausnehmen.

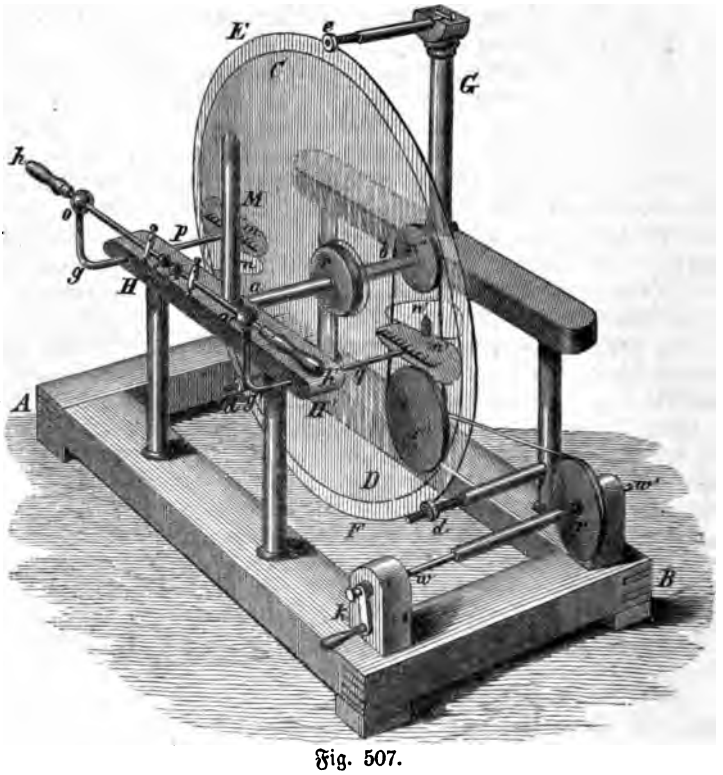


Fig. 507.

Die größere feststehende Scheibe EF hat zwei einander gegenüberstehende längliche Ausschnitte n, n'; über n und unter n' ist je eine Papierbelegung m, m' auf die Scheibe EF aufgeklebt; von jeder Belegung aus ragt ein zugespitztes Stückchen Kartenpapier in den betreffenden Ausschnitt hinein. Die Figur weist das eine dieser Zähnchen zwischen den Buchstaben m' und n' auf, das andere wird in der perspectivischen Ansicht durch das Säulchen M verdeckt. Vor der beweglichen Scheibe CD befinden sich, jeder der Papierbelegungen gegenüber, bei m und m', zwei Sauger, aus einer Reihe Spitzchen bestehend, die

einem parallel zur Scheibe liegenden Leiter angehören; sie werden von den Messingstäben g g' getragen, welche durch das feste Querstück HH' gehalten werden, und nachdem sie bei g g' eine verticale Richtung angenommen, in den Kugeln o o' enden. Der Körper HH', sowie die Ständer, worauf er ruht, sind von Ebonit. Durch die Kugeln o, o' sind Messingstäbe mit Ebonitgriffen h h' gesteckt, welche die eigentlichen Conductoren für beide Elektricitäten bilden; an den Enden dieser Stäbe befinden sich die Kugeln i i', aus denen man die Funken zieht; sie können einander bis zur Berührung genähert und auch beliebig auseinander gezogen werden. Die Leiter g g' sind hohl und es werden die Sauger m m' in sie hineingesteckt; um bessere Leitung zu erlangen, sind die Stiele der Sauger geschlitzt, so daß sie nach außen hin federn und an die Wände der Leiter g g' desto dichter anschließen. Zu der Maschine wird noch eine Ebonitplatte (Fig. 508) von $2^{dm.}$ Länge und $1^{dm.}$ Breite geliefert. Ebonit oder Hartgummi ist ein ausgezeichneter Isolator und läßt sich durch Reiben mit Pelz, Wollenzeug oder der trockenen Hand leicht elektrisch machen. Den Namen „Ebonit" hat ihm Poggendorff gegeben; da er mir zweckmäßig scheint, so habe ich ihn schon lange ausschließlich gebraucht.

Fig. 508.

Um die Influenzmaschine in Thätigkeit zu setzen, bringe man die Conductoren (Elektroden) i i' zur Berührung, reibe die Ebonitplatte mit Pelz, halte sie hinter die Belegung m, indem man mit der anderen Hand die bewegliche Scheibe mittelst der Kurbel k rechts herum dreht. Man hört sofort ein eigenthümliches Rauschen; wenn dieses eingetreten, lege man die Ebonitplatte fort und ziehe die Conductoren i i' aus einander, so wird zwischen beiden ein continuirlicher Feuerstrom verschiedenfarbigen, besonders violetten geschichteten Lichtes in der Form gesonderter Fäden entstehen, der so lange anhält, als man die Scheibe dreht, wenn man nur die Elektroden (so heißen gewöhnlich die Kugeln i, i', während man den Namen Conductoren nur auf die Stäbe o g, o' g' anwendet) nicht über die Schlagweite hinaus von einander entfernt. Geschieht dies aber, so hört der Funkenstrom sogleich auf. Schließt man schnell den Stromkreis, indem man i und i' aneinander rückt, so fängt die Wirkung zuweilen von Neuem an; sonst muß man die Elektricität wieder durch die Ebonitplatte erregen. Will man die Versuche auf kurze Zeit unterbrechen, so schließe man die Elektroden; unter günstigen Witterungsverhältnissen bleibt dann die Maschine ziemlich lange geladen, d. h. wenn man die Scheibe wieder dreht, erhält man auch sofort wieder den Funkenstrom, ohne daß eine neue Erregung voran gegangen; anderemal hört die Ladung aber auch sogleich auf.

Legt man auf die Saugarme bei p und q eine Glasröhre ab (Fig. 509), welche inwendig von c bis d mit einem (in der Zeichnung

sichtbaren) Stanniolstreifen belegt ist, so ändern sich die Funken ganz und gar; sie werden intensiver, geräuschvoller, länger, gehen im Zickzack von einer Elektrode zur anderen, kurz sind ähnlich den Funken der Winter'schen Maschine, wenn man den Condensator aufgesetzt hat. Wir müssen aber die Beschreibung der erwähnten Röhre, die man, ihrer Wirkung wegen, auch Condensator genannt hat, noch etwas vervollständigen. Das Glasrohr ab ist in- und auswendig gefirnißt: auf seiner Oberfläche sind die zwei abgerundeten Holzkörper e und f mit einer Schellacklösung festgeklebt, jedoch ist unter dem Holze das Glas mit Papier umwickelt und zwar von m bis m' und von n bis n'. In dieser Gegend geht auch die innere Stanniolbelegung ringsum und der eben erwähnte Streifen schließt sich an diese volle Umwickelung an. Die Holzkörper e, f sind bis auf das Glas bei c und d durchbohrt und die Durchbohrungen sind mit (leitendem) Stanniol ausgefüllt. Auf der Oberfläche sind bei c, d Kerbe ausgeschnitten, so daß, wenn man diese Stellen auf die Conductorarme p und q legt, leitende Berührung eintritt.

Wenn man die negativ-elektrische Ebonitplatte der Papierbelegung m nähert, so wirkt sie vertheilend auf die gegenüberstehenden Saugspitzen und den Conductor p g o, die positive Elektricität wird aus

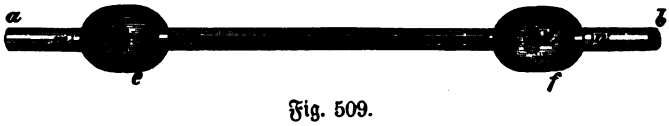


Fig. 509.

dem Conductor nach den Saugspitzen gezogen, die negative dagegen in den Conductor p g o abgestoßen, wo sie dann auch zu der Elektrode i gelangt. Dreht man nun die Scheibe rechts herum, so kommen Theile der Scheibe den Saugspitzen bei m gegenüber zu liegen, die noch ihre beiden natürlichen Elektricitäten haben; die positive der Saugspitzen vereinigt sich daher mit der negativen des Glases und wird so aufgehoben. In der Scheibe bleibt an den Stellen, die hinter den Saugern m vorübergegangen, freie positive Elektricität. Nun aber gelangen diese positiv-elektrischen Scheibentheile bei fortgesetzter Drehung in die Gegend der Belegung m' und der daraus vorragenden Kartenspitze; diese Spitze und damit die Belegung m' ziehen diese positive Elektricität der Scheibe an sich. Die Belegung m' zieht daher negative in die Saugspitzen vor m', weshalb in dem Conductor q g' o' positive zurückbleibt, so daß dann auch die Elektrode i' positiv werden muß. Nun zieht aber die negative Elektricität der Saugspitzen m' aus den Theilen der gedrehten Scheibe, welche da vorbeigehen, die positive Elektricität, diese beiden heben sich auf; es bleibt also in der Scheibe von dieser Stelle an negative Elektricität zurück. Die obere Hälfte der Scheibe ist fortwährend positiv, die untere fortwährend negativ. Diese negativ geladenen Theile der Scheibe gelangen nun zu der Belegung und der Kartenspitze n und wirken hier gerade so, wie Anfangs die negative Ladung der Ebonit-

platte wirkte; daher kommt es denn, daß man nach der ersten Umdrehung der Scheibe die Ebonitplatte gar nicht mehr nöthig hat.

Die Wirkung des oben erwähnten Condensators der Holtz'schen Maschine wird noch verstärkt, wenn man den einen Conductor mit der inneren, den anderen mit der äußeren Belegung einer Leydener Flasche verbindet.

An die Stäbe, welche die Elektroden i, i' tragen, sind Klemmen angebracht, in welche Drähte eingesteckt und festgeschraubt werden, um den elektrischen Strom durch irgend welche Körper zu leiten. In dem Ständer M ist eine Bohrung angebracht, durch welche ein Messingrohr gesteckt werden kann, das vorn eine Kugel trägt, die mit der einen Elektrode i oder i' in Berührung gebracht werden kann; oder aber, es werden beide Elektroden davon zurückgezogen, so springen die Funken von beiden auf diese Kugel über und die Elektricitäten neutralisiren sich. Leitet man die eine ab, so bleibt die andere frei zur Verwendung.

Eine zweite Bohrung ist höher oben an demselben Ständer, um noch einen Arm mit Saugspitzen am höchsten Punkt der Scheibe anzubringen; von Hinten wird gegen die feste Scheibe ein Stück Seidenpapier angelegt, das, wenn die Maschine im Gange ist, durch die Elektricität festgehalten wird; dann muß aber vom Arm dieses Saugers ein leitender Draht nach dem negativen Conductor q g geführt werden. Dadurch wird die Menge der von der Maschine gelieferten Elektricität gefördert. Natürlich wirkt auch die Geschwindigkeit, mit der die Scheibe gedreht wird, in demselben Sinne.

Die Wirkungen dieser Maschine sind bedeutend, da sie eben größere Mengen Elektricität liefert als jede andere. Eigenthümlich ist die Form

Fig. 510.

Fig. 511.

der Funken ohne Anwendung des Condensators; zwischen Kugeln nehmen sie die Form der (Fig. 510), zwischen Spitzen die der (Fig. 511) an, wo jede Linie aus unzähligen Fünkchen besteht.

Statt des oben beschriebenen Condensators kann man auch zwei Leydener Flaschen anwenden; ihre äußeren Belegungen werden unter sich, die innere der einen Flasche mit dem negativen, die der anderen mit dem positiven Conductor verbunden. Die Erscheinung des Lichtes in den Geißlerschen Röhren zeigt sich sehr schön. Die Zusammenstellung, wie sie (Fig. 512) zeigt, dürfte wohl am zweckmäßigsten sein. Auf

einem Fußbrett mit Füßen ist der Ständer AB errichtet, der oben den hölzernen Arm BC trägt; bei C ist eine Klemme mit Schraube v, um den Draht a b festzuhalten, der bei b zu einem Häkchen umgebogen ist. Der Draht d g steckt fest im Fußbrett und geht durch dasselbe hindurch. Von der Klemme C geht ein Draht nach e; an der Unterfläche sind die Drähte c e und d g nach den Klemmen p, q fortgeführt. Zwischen b und d wird die Geißlersche Röhre mit dem Platinhäkchen, welche ins Glas eingeschmolzen sind, eingehakt, dann wird a b angezogen und mit der Schraube v festgemacht. In die Klemmen p, q werden Drähte eingesetzt, deren andere Enden in die Klemmen, welche sich auf den Conductorstäben der Maschine befinden, eingeschraubt werden. Sobald die Maschine in Thätigkeit kommt, zeigt sich in der Röhre ein bläulicher Lichtschein, schaltet man einen Condensator ein, so geht es in geschichtetes Licht über.

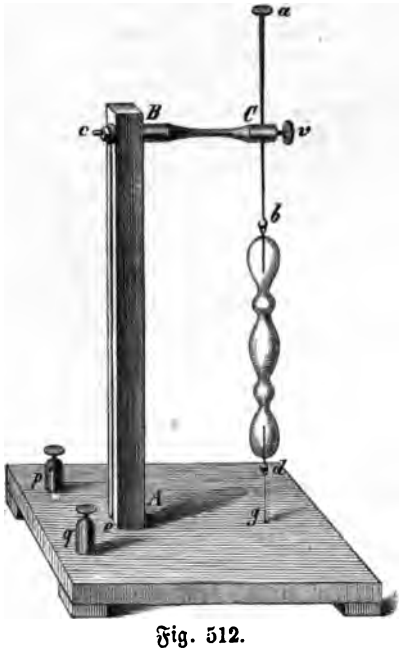


Fig. 512.

Bei aller Vortrefflichkeit der Holtz'schen Maschine hat sie doch auch ihre Eigenthümlichkeiten. So z. B. versagt sie ihre Dienste, wenn die Luft des Zimmers etwa durch Anwesenheit vieler Personen, feucht wird, oder wenn man die Schlagweite zu groß gemacht hat. Im letzten Falle ist sie dann meist durch neue Erregung mittelst der Ebonitplatte wieder in Gang zu bringen. Unter günstigen Umständen (bei sehr trockener Luft) kann man sie durch eine geriebene Siegellackstange anregen, anderemal, wenn nämlich die Luft feucht ist, hält es schwer, Elektricität aus ihr zu erhalten. Man muß sie dann, im Winter wenigstens, einige Zeit in die Nähe des geheizten Ofens bringen.

Nach längerem Gebrauche verändert sich der Schellacküberzug des Glases, Holtz meint, es scheide sich Kohle aus dem Schellack aus. Mag dem sein, wie es wolle, die Scheiben erhalten einen frembartigen Ueberzug, der sie unwirksam macht. Man sollte dann die Scheiben aus der Maschine herausnehmen, sie mit einem mit reinem Wasser benetzten Schwämmchen abwaschen, gut abtrocknen und wieder einsetzen. Wenn diese Erscheinung wirklich von einer Veränderung des Schellacks herrührt, so muß natürlich der Schellacküberzug mit der Zeit ganz untauglich werden. Dann müssen die Scheiben frisch gefirnißt werden.

Man wird dies am besten von einem geübten Mechaniker besorgen lassen. In Ermangelung einer geeigneten Persönlichkeit muß man freilich das Geschäft selbst besorgen. In dem Falle löse man Schellack (sogenannte lacca in tabulis) in absolutem Alkohol auf, filtrire ihn, oder lasse ihn (verschlossen) so lange stehen, daß man die klare Flüssigkeit von dem Bodensatz abgießen kann. Die Lösung trage man dann mit einem feinen, aber hinlänglich großen Malerpinsel auf die Scheibe auf und lasse sie trocknen. Dies Geschäft muß wohl mehreremal wiederholt werden; ehe man aber neuen Firniß aufträgt, muß der vorige Anstrich ganz trocken sein.

Wenn man mit dieser Maschine arbeitet und auf kurze Zeit das Drehen und Funkenziehen unterbrechen muß, so schließe man die beiden Elektroden dicht an einander. Setzt man dann nach einiger Zeit die Arbeit fort, so giebt die Maschine sogleich wieder Feuer, bei günstiger Witterung kann man sie zwei bis drei Stunden lang stehen lassen, ohne daß sie wieder von Neuem angeregt zu werden braucht; anderemal, wenn nämlich die Luft feucht ist, versagt sie schon nach wenigen Minuten; und wenn man versäumt hat, die Elektroden zu schließen, so hört der Strom bei jeder Witterung sofort auf.

5. Apparate, welche in Verbindung mit der Elektrisirmaschine gebraucht werden.

Der elektrische Tanz ist ein Glascylinder A (Fig. 513), 4 cm. hoch, 3 cm. weit; B C ist ein mit dem Rande aufgekitteter Messingdeckel, in den der messingene Haken a eingeschraubt ist; der Boden D E ist ebenfalls eine Messingplatte mit Rand, wird aber nur mit letzterem auf das Glas aufgeklemmt, um jederzeit leicht abgenommen werden zu können; in die Mitte des Bodens ist der Haken b eingeschraubt. In das Innere bringt man kleine leitende, aber leichte Körper, Stückchen Hollundermark, Strohhälmchen, Papierschnitzelchen ꝛc., hängt der Haken a an den kleinen Conductor der Winter'schen, oder an den einen Conductor der Influenzmaschine, während allemal die Elektricität des anderen abgeleitet wird, und hängt an den Haken b einen Kupferdraht, der nach dem Fußboden reicht. Dreht man die Scheibe der Maschine, so hüpfen die kleinen Körperchen gegen die Decke, werden elektrisch, dann fallen sie zum Boden, weil der Deckel sie, als mit ihm gleichnamig elektrische Körper, abgestoßen, fallen auf den Boden, geben ihre Elektricität an diesen ab und werden nun wieder elektrisch. Je weniger stark die Maschine wirkt, desto niedriger muß man den Cylinder nehmen. Man könnte den Boden auch so einrichten, daß er sich, wie ein Kolben, in den Cylinder hineinschieben ließe,

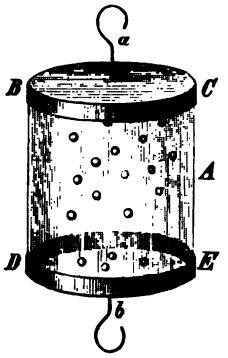


Fig. 513.

und könnte ihn dann bei schwacher Wirkung der Maschine weiter, bei stärkerer Wirkung weniger weit einschieben, also den Abstand von der Decke nach Bedürfniß verkürzen und verlängern.

Das Glockenspiel (Fig. 514). Am Conductor A hängt mittelst eines Metalldrahtes der Messingstab BC; an diesen sind die Metallglocken a und c mittelst Metallketten, die Glocke b mittelst einer seidenen Schnur angehängt; m und n sind Metallkügelchen, die an seidenen Fäden hängen; endlich ist von der Glocke b eine Metallkette zur Erde geführt. Kommt die Maschine in Thätigkeit, so werden die Glocken a, c elektrisch, ziehen die Klöppel m und n an, machen sie ebenfalls elektrisch, stoßen sie wieder ab; die Klöppel schlagen dabei gegen die unelektrische Glocke b, geben an diese ihre Elektricität ab und das Spiel beginnt von Neuem.

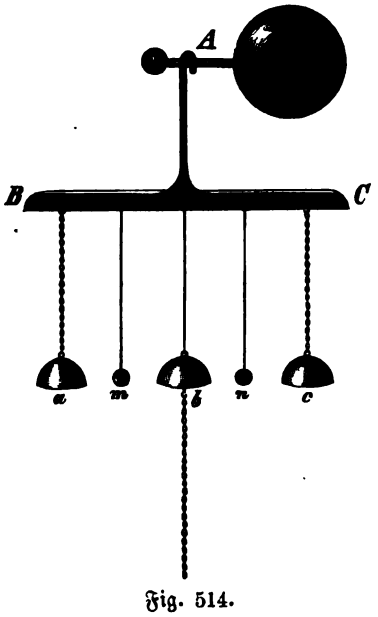


Fig. 514.

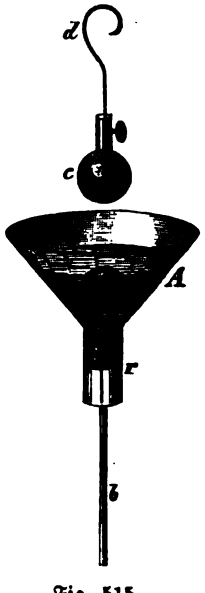


Fig. 515.

Um Aether zu entzünden bediene ich mich des Apparates (Fig. 515). In einen kleinen Glastrichter A, dessen Rohr r etwas kürzer gemacht ist, hat man die Messingkugel a, in welche der Messing- oder Kupferdraht b eingeschraubt ist, eingekittet, so daß keine Flüssigkeit durchfließen kann; eine zweite eben solche Kugel c wird mit einem Haken d versehen, womit man sie an den Conductor der Maschine anhängen kann. Gießt man Aether in den Trichter und hält diesen, ihn mit einer Kohlenzange beim Drahte b fassend, so unter die am Conductor hängende Kugel c, daß diese sich dicht über dem Aether befindet, so werden, wenn

die Kugel a nur gerade von der Flüssigkeit bedeckt ist, Funken zum Aether überspringen, welche diesen entzünden. Man halte ja nicht den Draht b mit der bloßen Hand, weil leicht brennender Aether überfließen und dann die Hand verletzen kann. Obgleich hier eine Ableitung vorhanden sein muß, damit die Funken überspringen, der Trichter also nicht beim Glase gehalten werden darf, weil dann die Ableitung zur Erde fehlen würde, darf man doch nicht ein metallenes Gefäß nehmen, weil bei einem solchen die Funken zum Rande des Gefäßes überspringen und den Aether nicht treffen, also auch nicht entzünden würden. Man kann auch den Trichter A in einer Korkklemme befestigen, den Draht b unten zu einem Haken biegen, in den man eine Kette einlegt, welche zum Fußboden herunterhängt, dann braucht man gar Nichts mit der Hand zu halten.

Die elektrische Pistole ist in (Fig. 516) dargestellt. Ein starkes Messingrohr a b wird mit einem pistolenartigen hölzernen Griff c versehen. Bei c ist das Rohr seitlich durchbohrt; nach Außen wird ein ebenfalls durchbohrter kleiner Messingcylinder d d' aufgelöthet; in diese Bohrung schraubt man das Knöpfchen n, an das nach Innen ein Glas-

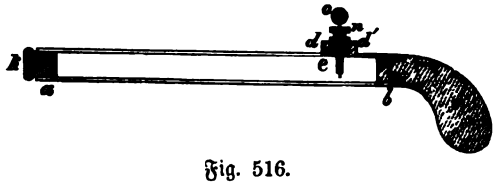


Fig. 516.

röhrchen angekittet ist; in das Knöpfchen n und das Glasröhrchen kittet man (mit Siegellack) einen Messingdraht, an welchen die Kugel o angeschraubt oder angelöthet ist; der Messingdraht wird am anderen Ende zugespitzt und muß bis dicht an die gegenüberstehende Wand der Röhre reichen, so daß er zwar nicht berührt, der Abstand von der Wand aber höchstens 0,5 mm. beträgt. In einer kleinen Flasche bereitet man nun Wasserstoffentwickelung vor, indem man einige Stückchen Zink hineinwirft und verdünnte Schwefelsäure (1 Th. Säure auf 8 — 10 Th. Wasser) darauf gießt, dann die Flasche mit einem Kork verschließt, durch den ein eng ausgezogenes Röhrchen gesteckt ist. Nachdem die Gasentwickelung die atmosphärische Luft aus der Flasche ausgetrieben, (was man an dem Geruch erkennt, weil das Zink immer etwas Kohle enthält, weshalb dann ein Theil übelriechendes Kohlenwasserstoffgas entsteht, — reines Wasserstoffgas ist geruchlos —) halte man das offene Ende der Pistolenröhre über die Oeffnung des kleinen Glasröhrchens, kürzere oder längere Zeit, je nachdem die Gasentwickelung mehr oder weniger lebhaft vor sich geht, gewöhnlich reichen wenige Secunden hin; verschließe dann die Oeffnung mit einem festen Kork k, fasse die Pistole beim Griffe c, lege den Daumen derselben Hand über das Ende des Messingrohrs bei d' und nähere die Kugel o, während die Elektrisirmaschine

in Thätigkeit gebracht wird, dem Conductor, so springt von diesem ein Funke auf die Kugel o und von der inneren Spitze des Drahtes nach der Wandung des ableitend berührten Rohrs über. In dem Rohr ist noch ein Theil der Luft zurückgeblieben, also ist hier Sauerstoff vorhanden, der mit dem hineingeleiteten Wasserstoff Knallgas bildet; dieses wird aber durch das kleinste elektrische Fünkchen entzündet. Bei der großen Hitze, welche durch die Verbrennung des Wasserstoffs erzeugt wird, dehnt sich der durch die Verbindung beider Gase gebildete Wasserstoff zu einem viel größeren Volumen aus, als beide Gase vorher zusammen einnahmen, der Kork k wird gewaltsam hinaus geschleudert. Die in der Röhre enthalten gewesenen Gase und Wasserdämpfe dehnen sich unter den gegebenen Umständen nun so stark aus, daß der innere Raum fast als luftleer angesehen werden kann; die äußere Luft stürzt daher mit einer Geschwindigkeit von 300—400 m. in diesen leeren Raum, wodurch dann der starke Knall entsteht.

Die Entzündung wird zuweilen nicht gleich beim ersten Versuch erfolgen; dann ist in der Röhre entweder zu viel oder zu wenig Wasserstoff, meist hat man zu viel darin. Nimmt man den Pfropfen ab und schwenkt die Röhre in der Luft, so erfolgt oft Entzündung, wenn man die Kugel o wieder an den Conductor bringt; es ist möglich, daß dabei etwas vom zurückgebliebenen Stickstoff der Luft herausgetrieben wird. Gelingt es auch dann nicht, so muß man den Versuch von Vorn anfangen.

Das Quadrantelektrometer von Henley (Fig. 517) besteht aus einem Messingstab AB, welcher in die obere Oeffnung des Conductors der Maschine gesteckt wird. An diesen Stab wird ein elfenbeinerner Halbkreis BCD geschraubt, im Mittelpunkt E wird ein Strohhalm so angebracht, daß er sich in der Verticalebene drehen kann; ans Ende des Strohhalms wird ein Hollundermarkkügelchen befestigt. Der Conductor wird dem Stab AB Elektricität mittheilen; das Kügelchen a wird ebenfalls durch Mittheilung gleichnamig elektrisch mit AB, daher von diesem abgestoßen; es wird sich um so höher heben, je größer die auf dem Conductor angesammelte Elektricitätsmenge ist. Indeß kann man diese doch nicht der Gradzahl des Winkels, um den sich das Pendel hebt, proportional setzen, weil der Verlust an Elektricität durch Zerstreuung an die Luft mit der Spannung der auf dem Conductor angesammelten Elektricität stark wächst; daher wird denn bei fortwährendem Drehen der Scheibe von einer gewissen Zeit an der Verlust des Conductors so groß, als die ihm durch die Scheibe zugeführte Elektricitätsmenge, von wo an das Elektrometer nicht mehr steigen wird. Dieser Zustand wird früher eintreten, wenn die Luft feucht ist, später, wenn sie trocken ist.

Das elektrische Rad. Auf einem Fuß A (Fig. 518), der aus Holz oder Messing bestehen kann, ruht die Glassäule B, welche oben bei C auf einer Messingfassung eine stählerne Spitze trägt. Ein Messingstreifen DE hat in der Mitte ein Hütchen a wie eine Magnetnadel,

um sie damit auf die Spitze C zu setzen. An den Enden hat der Messingstreifen die Spitzen b, c, welche rechtwinklig gegen D E stehen, aber, wie der Streifen selbst, in der Horizontalebene liegen (die schiefe Lage der Spitzen in der Zeichnung ist Folge der perspectivischen Ansicht). Vom Conductor der Maschine wird ein Kupferdraht zur Spitze C geführt, der am Ende zu einem kleinen Ring gebogen ist, mit dem er auf die Spitze C aufgelegt wird, so daß er auf der messingenen Fassung ruht. Wenn die Maschine gedreht wird, rotirt der Messingstreifen in der den Spitzen entgegengesetzten Richtung, weil die Elektricität aus den Spitzen ausströmt, da man die Erscheinung wohl am richtigsten auf das Princip des Segner'schen Rades und der rotirenden Dampfkugel zurückführen wird. Innerhalb einer verschlossenen Glasglocke hört das Rad nach einiger Zeit auf zu laufen, weil die Luft der Glocke selbst elektrisirt wird, daher kein Ausströmen mehr statt finden kann. In einer luftleeren Glocke kommt das Rad gar nicht in Bewegung.

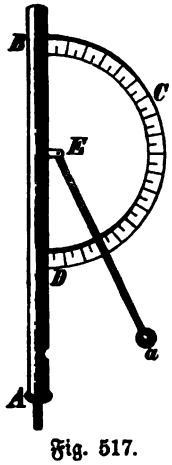


Fig. 517.

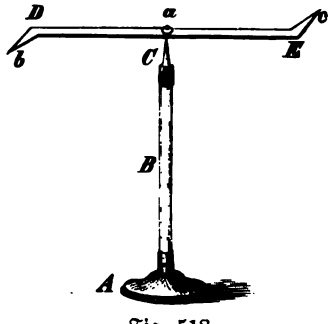


Fig. 518.

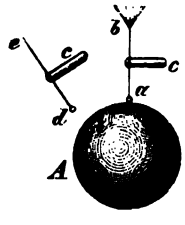


Fig. 519.

Die Wirkung der Spitzen auf das Ausströmen der Elektricität kann an der Winter'schen Elektrisirmaschine leicht dadurch gezeigt werden, daß man in die obere Oeffnung des Conductors einen passenden Metallstab einsteckt, welcher nach Außen in eine scharfe Spitze endigt. Sofort giebt der Conductor keine Funken mehr, wenn man auch die Scheibe fortwährend dreht. Im Dunkeln aber sieht man an der Spitze ein bläuliches Lichtbüschel.

Ist A (Fig. 519) die Conductorkugel, a b ein bei b zugespitzter Messingdraht, c eine Schellack- oder Siegellackstange, bei welcher man den daran gekitteten Draht a b isolirt halten kann, und man nähert ihn so (isolirt gehalten) der positiv elektrischen Kugel A, so erscheint im Dunkeln zwar an der Berührungsstelle bei a ein Fünkchen, weil doch

nie eine vollkommene Berührung stattfindet; aber an der Spitze b erscheint das bläuliche Feuerbüschel; das Büschel wird noch schöner, wenn man mit der Hand ein Stück Metall in geringer Entfernung über die Spitze hält. Hält man den Draht, wie de, wo d die scharfe Spitze ist, in kurzem Abstande vom positiv geladenen Conductor, indem man ihn wieder bei der Harzstange c isolirt anfaßt, so erscheint bei d ein weiß leuchtender Punkt. Hier findet Influenz statt; die positive Elektricität des Conductors zieht die negative des Drahtes an; besser noch tritt die Erscheinung hervor, wenn man den Draht selbst mit zwei Fingern faßt, weil dann mehr Elektricität zuströmen kann.

Der Isolirschemel (Fig. 520) besteht aus einem kreisförmigen Brett von hartem Holze, das auf drei Glasfüßen ruht. Stellt sich ein Mensch auf denselben, und faßt mit der Hand den positiv geladenen Conductor der Maschine an, so wird sein ganzer Körper nebst den Kleidungsstücken elektrisch; man kann Funken aus allen Theilen ziehen, die Haare stehen zu Berge und leuchten an den Spitzen, wenn man das Zimmer verdunkelt. Die Füße des Schemels werden, der besseren Isolirung wegen, mit Schellackfirniß überzogen.

Eine Blitztafel ist eine Glasscheibe, auf welche man Stanniolstreifen geklebt hat, in welchen verschiedene kurze Unterbrechungen vorkommen, wie (Fig. 521), wo die Unterbrechungen ein lateinisches N bilden. Wenn man bei a eine Klemme anbringt, in die ein Draht befestigt wird, dessen anderes Ende nach dem Conductor geht, und man legt einen Finger auf das andere Ende z des aufgeklebten Streifens, so geht die Elektricität immer dem Streifen entlang, weil sie bei z abgeleitet wird, an jeder der kleinen Unterbrechungen aber springt sie in einem Funken über und man erkennt im Dunkeln sehr gut die durch die Unterbrechungen dargestellte Figur.

Das elektrische Licht im luftleeren Raume kann man durch den in (Fig. 522) gezeichneten Apparat zeigen. Eine etwa 1 m. lange, 4—5 cm. weite Glasröhre ist an beiden Enden mit Fassungen versehen, welche gut aufgekittet sind. Die eine dieser Metallfassungen, a, ist ganz geschlossen; durch die Decke hindurch ist aber der außen zu einem Haken gebogene Draht e geführt, der nach Innen in eine Spitze endigt. Die andere Fassung b ist mit einem Hahn c verbunden und hat bei d ein Gewinde, das sich auf die Luftpumpe aufschrauben läßt. Auch hier ist inwendig eine Spitze f angebracht. Die Röhre wird auf den Luftpumpenteller geschraubt und so viel wie möglich ausgepumpt; dann wird der Hahn geschlossen. Man stelle die Elektrisirmaschine auf einen Tisch in der Nähe der Pumpe, führe vom positiven Conductor einen starken Kupferdraht nach dem Haken des Drahtes e, vom negativen einen eben solchen nach dem Hahnstück bei b und setze die Scheibe der Maschine in Bewegung. Hat man dann das Zimmer verdunkelt, so sieht man zwischen beiden Spitzen eine in fast fortwährender Zuckung befindliche, röthlich violette Lichtgarbe sich ausbreiten. Der Apparat (Fig. 523) dient dazu, die Erscheinung zwischen zwei Kugeln (statt der

Spitzen des vorigen) zu zeigen. Zugleich ist die Röhre in der Mitte bauchig erweitert; der Fuß ist hier zum Aufsetzen auf den Teller eingerichtet, kann aber auch mit einem Gewinde versehen sein. Das Verfahren ist dasselbe wie vorher beschrieben. Ist während des Versuchs die Luft in der Röhre weniger dünn geworden, so kann man sofort wieder einige Kolbenzüge geben, ohne an der Zusammenstellung etwas zu ändern.

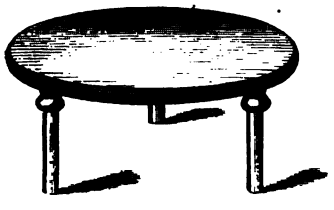


Fig. 520.

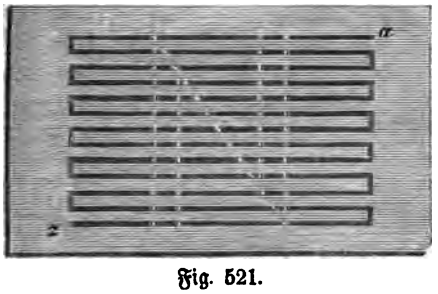


Fig. 521.

Fig. 522.

Fig. 523.

6. Auf der Influenz beruhende Apparate.

Es tritt zwar allemal Influenz ein, wenn ein elektrischer Körper in die Nähe eines unelektrischen kommt, so daß die im Vorangehenden beschriebenen Instrumente mit hieher gerechnet werden könnten; ich fasse aber in der gegenwärtigen Abtheilung diejenigen Apparate zusammen,

bei welchen die Influenz vorherrschend Spannungserscheinungen hervorruft.

Die Franklin'sche Tafel ist eine ebene, dünne Glasscheibe AB (Fig. 524) von quadratischer Gestalt und 3—4 dm. Seitenlänge; sie wird auf beiden Seiten so mit Stanniol beklebt, daß ringsum ein Rand von 7—8 cm. Breite unbelegt bleibt; CD ist diese Stanniolbelegung; den unbelegten Rand überzieht man noch mit Schellackfirniß. Mit einer Seitenkante wird sie in ein Stativ D fest eingekittet. In der Mitte der einen Belegung (Fig. 525) wird ein Messingplättchen u, in das ein Haken eingeschraubt ist, aufgekittet; da aber der Kitt nicht leitet, so muß man durch übergeklebten Stanniol die Oberfläche des Plättchens mit der Belegung in leitende Verbindung bringen; von dem Häkchen wird ein Draht oder eine Kette E zur Erde geleitet. Führt man der isolirten Belegung von der Maschine Elektricität zu, so bindet sie auf

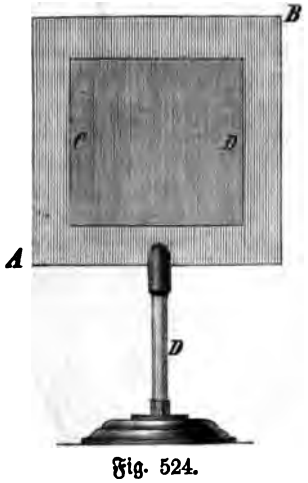


Fig. 524.

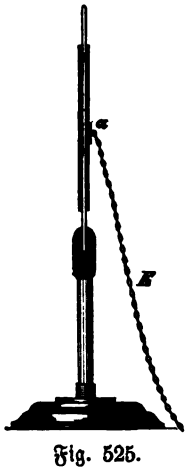


Fig. 525.

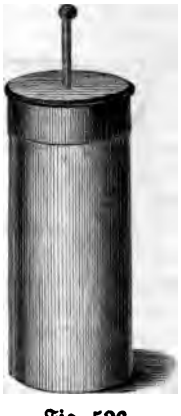


Fig. 526.

der anderen mit der in leitender Verbindung stehenden Belegung eine gleiche Menge entgegengesetzter. Verbindet man beide Belegungen durch einen Leiter, (wobei man zuerst die abgeleitete berührt,) so verbinden sich beide Elektricitäten mit einem hörbaren Funken. Bildet der Mensch selbst diesen Leiter, so verspürt er eine Erschütterung in den Theilen seines Körpers, durch welche die Verbindung der Elektricitäten hindurchgeht.

Um große Wirkungen durch die in Spannung befindliche Elektricität hervorzubringen, eignet sich die Tafel nicht; aber sie ist mehr als die Verstärkungsflasche geeignet, dem Anfänger die gebundene Elektricität deutlich zu machen.

Die Verstärkungsflasche oder Leydener Flasche. Ein cylindrisches Gefäß (Fig. 526) von weißem Glase mit flachem Boden wird in- und auswendig mit Stanniol bekleidet, den man mit Stärkekleister

darauf festklebt und überall gut glättet. Der obere Rand des Glases bleibt jedoch, je nach der Größe der Flasche, 4—5 cm. hoch unbelegt und wird mit Schellackfirniß überzogen. Zu diesem Glase wird ein Deckel aus hartem und trockenem Holze gedreht, der noch mit Firniß überzogen wird, um ihn nichtleitend zu machen. Er wird in der Mitte durchbohrt, um einen starken Messingdraht aufzunehmen, der bis auf den Boden reicht und noch 1—2 dm. höher ist als das Glas. In dem Deckel muß er feste Haltung haben; oben wird eine 2 cm. im Durchmesser haltende Messingkugel aufgeschraubt; am unteren Ende des Drahtes werden 2 Messingfedern, die sich gegen den belegten Boden der Flasche anlegen, aufgesetzt und durch eine auf das Ende des Drahtes aufgeschraubte Mutter festgehalten.

Um die Flasche zu gebrauchen, faßt man sie bei der äußeren Belegung mit der Hand und nähert den Knopf (die auf den Draht geschraubte Kugel) dem Conductor der in Thätigkeit gesetzten Maschine. Die Flasche ladet sich dann gerade so, wie die Franklin'sche Tafel mit beiden entgegengesetzten Elektricitäten, die innere Belegung erhält die des Conductors, die äußere die entgegengesetzte, welche durch die der inneren Belegung mittelst Influenz angezogen wird; es ist also wesentlich, daß während des Ladens die äußere Belegung auf irgend eine Weise (hier geschieht es gewöhnlich durch die Hand des Experimentirenden) mit der Erde in leitende Verbindung gesetzt werde. Die Flasche wird entladen, wenn man die innere Belegung mit der äußeren in leitende Verbindung setzt. Bewirkt man diese Verbindung durch den eigenen Körper, d. h. faßt man mit der einen Hand die äußere Belegung, mit der anderen den Knopf an, so erhält man eine Erschütterung.

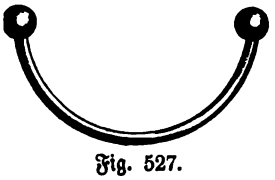


Fig. 527.

Zur Entladung der Leydener Flasche bedient man sich gewöhnlich eines Ausladers. Die einfachste Form des Ausladers stellt (Fig. 427) vor; er besteht aus einem dicken, gebogenen Messingdraht, der an beiden Enden mit Kugeln aus demselben Metall versehen ist. Um damit eine Flasche zu entladen, faßt man ihn mit ein paar Fingern in der Mitte, hält die eine Kugel an die äußere Belegung, die andere an den Knopf. Man braucht nicht zu fürchten, daß man dabei den Schlag selbst bekomme.

Fig. 528.

Eine andere Art Ausladers stellt (Fig. 528) vor. An einen starken Glasstab a ist eine Fassung b mit Charnier angekittet; in letzterem

können sich die mit Kugeln versehenen, etwas gebogenen, starken Messingdrähte c, c drehen; dadurch wird es möglich, die Kugeln mehr oder weniger weit aus einander zu bringen, wie es im vorliegenden Falle gerade nöthig sein wird.

Ein besonders nützliches Instrument ist der Henley'sche oder allgemeine Auslader (Fig. 529), weil er so viele Abänderungen in der Anwendung zuläßt. Auf dem Fußbrett AB sind die zwei starken, etwa 2 dm. langen Glassäulen a, b befestigt, welche oben die Büchsen c, c tragen; diese Büchsen enthalten doppelte Gelenke, in welchen die hohlen Cylinder oder Hülsen d, d einmal um eine verticale, dann auch um eine horizontale Achse beweglich sind; durch die Hülsen d, d sind die starken Drähte e f gesteckt und lassen sich darin nur mit einiger Reibung drehen und der Länge nach verschieben; bei e tragen diese Drähte einen Ring, bei f sind Kugeln aufgeschraubt. In der Mitte des Fußbrettes erhebt sich die hölzerne Säule C, in die der gläserne Fuß der hölzernen Tischplatte D eingesteckt wird; durch die seitliche Schraube v kann die Tischplatte D in jeder Höhe festgestellt werden.

In dieser Form liefern die Mechaniker diesen Auslader gewöhnlich; er ist aber noch einiger Verbesserungen fähig. In den Hülsen d müßten von Oben Schrauben eingesetzt werden, um die Stäbe e f, wenn man ihnen die verlangte Lage gegeben, auch in dieser festzuhalten. Die horizontale Achse am Gelenk c müßte durch eine Mutter so festgestellt werden, daß die Stäbe sich nicht von selbst in der Verticalebene drehen können. Durch eine seitliche Schraube in der Fassung bei c könnte auch die horizontale Drehung der Stäbe e f gehemmt werden. Die Kugeln f können abgeschraubt werden; die Stäbe enden dann in stumpfe Spitzen; man sollte noch zwei schlanke, kegelförmige Spitzen von Stahl oder Eisen haben, die sich auf die an den Enden der Stäbe befindlichen Gewinde aufschrauben lassen. Endlich bedarf man noch zweier Drahtklemmen, welche sich ebenfalls auf die Enden der Drähte e f aufschrauben lassen, etwa in der Form der (Fig. 530); von Hinten werden sie auf das Gewinde aufgeschraubt, nach Vorn haben sie eine Bohrung ebenfalls nach der Richtung ihrer Längenachse, um einen Draht einzustecken, der durch die seitliche Schraube festgehalten wird. Diese Klemmen dienen dazu, die Wirkung des Entladungsschlages auf die Drähte von verschiedenen Metallen, verschiedenen Dicken und Längen zu untersuchen. Hat man nicht solche Klemmen, so muß man den Draht hinter den Kugeln um die Drähte des Ausladers wickeln, wie (Fig. 531).

Die Lane'sche Flasche, auch Maßflasche genannt, dient dazu, eine Entladung bei bestimmter Elektricitätsmenge zu bewirken. Sie besteht aus einer Leydener Flasche A (Fig. 532), die am unteren Rande noch mit einer festen messingenen Fassung a c versehen ist, die dicht an die Belegung anschließt. Die Flasche wird auf dem Fußbrett M N fest gemacht; auf demselben Brett ist auch die hölzerne oder gläserne Säule B C befestigt, welche oben bei C die feste Hülse d trägt, durch die der Metallstab b E durchgesteckt wird; dieser hat bei b einen Haken oder

Ring, um den Draht a b anzuhängen, der bei a ebenfalls über einen Haken geschlungen ist und den Stab b E mit der äußeren Belegung der Flasche verbindet; an b E ist am Ende eine Kugel E angeschraubt; die Säule B C ist gerade so hoch, daß die Kugeln E und F in gleiche Höhe zu stehen kommen.

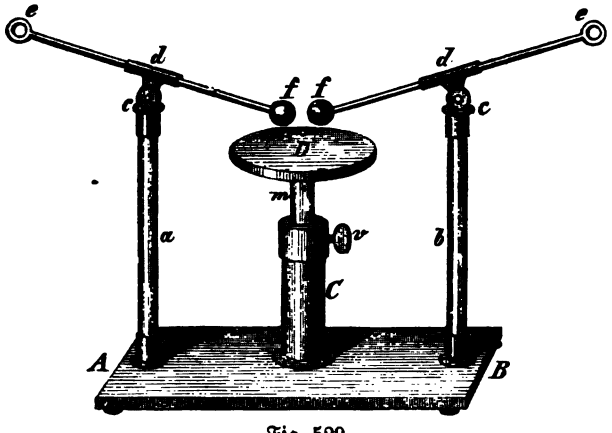


Fig. 529.

Fig. 530.

Fig. 531.

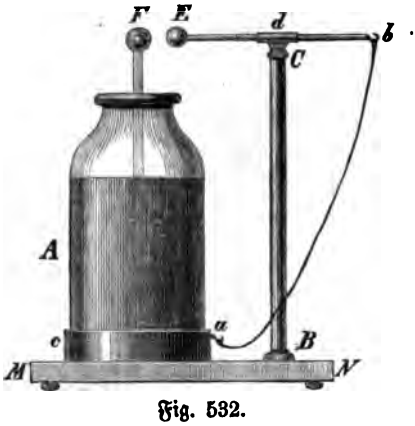


Fig. 532.

Hat man der Kugel E einen gewissen Abstand von der Kugel F gegeben und ladet dann die Flasche A, so wird sie sich von selbst entladen, wenn die Ladung gerade so groß geworden, daß ihr die Schlagweite E F entspricht. So oft bei demselben Abstande der Kugeln E und F eine Entladung eintritt, wird die Flasche zu demselben Grade geladen, dieselbe Menge Elektricität in ihr angesammelt gewesen sein.

Es ist zweckmäßig, den Stab b E mit einer Millimetertheilung zu

versehen, um die Abstände der Kugeln bei verschiedenen Versuchen mit einander vergleichbar zu machen. Man kann dann auch mit der Maßflasche die Wirksamkeit der Maschine an verschiedenen Tagen mit einander vergleichen; hat man nämlich die Kugeln auf eine gewisse Entfernung gestellt und man dreht dann die Scheibe so lange, bis eine Selbstentladung erfolgt und zählt die Umdrehungen, und man stellt ein andermal die Kugeln wieder eben so, so wird ein Versuch ausweisen, ob mehr oder weniger Umdrehungen der Scheibe nöthig sind, um wieder die Selbstentladung zu bewirken. Und will man zu verschiedenen hinter einander anzustellenden Versuchen Elektricität von gleicher und bestimmter Intensität haben, die also bei der Maßflasche bei einer bestimmten Entfernung der Kugeln eine Selbstentladung herbeiführt, so gelangt man dahin, wenn man die dazu nöthige Anzahl der Umdrehungen der Scheibe zählt und dann jedesmal, wo man diese Elektricitätsmenge erzeugen will, eben so oft herumdreht.

Die elektrische Batterie. Man kann Batterien aus einer beliebigen Flaschenzahl zusammenstellen; gewöhnlich wählt man die Quadratzahlen dazu 4, 9, 16, u. s. w., weil sich solche bequem zu einer regelmäßigen Figur ordnen lassen. Ich habe eine Batterie von 5 Flaschen von 20 cm belegter Höhe und 11 cm Durchmesser; der unbelegte Rand ist 4 cm hoch. Jede Flasche hat also 7,89 dm belegte Fläche. Diese Flaschen sind in einen quadratischen Holzkasten gestellt; um aber jeder Flasche ihren Ort bleibend anzuweisen, ist auf den Boden des Kastens ein eben so großes Brett aufgeleimt, aus dem für jede Flasche ein Kreis von gleichem Durchmesser mit dem der Flaschen ausgesägt ist, so daß für jede Flasche ein vertiefter Raum von etwa 1 cm Höhe (Tiefe) entsteht. Dieser Boden ist ganz und gar mit Stanniol ausgelegt und dieser mit Stärkekleister aus Holz angeklebt und glatt gemacht. (Fig. 533) giebt eine perspectivische Ansicht des Kastens mit sammt den Flaschen. Jede Flasche hat einen schwarz gebeizten und polirten Holzdeckel, durch dessen Mitte vom Boden aus ein 1 cm dickes Messingrohr bis 1 dm über die Deckel geführt ist. Diese Röhren tragen oben Kugeln von 4 cm Durchmesser; auf dem mittelsten jedoch sitzt eine größere Kugel von 5 cm Durchmesser. Die Kugeln der vier äußeren Flaschen sind mit der der mittelsten durch eben solche Röhren verbunden, wie die vorigen, sie sind aber in die kleineren Kugeln nur mit Reibung eingesteckt und können, wenn nöthig, herausgenommen werden, um einzelne Flaschen von der Batterie zu trennen und einzeln zu gebrauchen. An einer Seite des Kastens ist das Messingrohr a b c durch die Seitenwand geführt und an eine Platte gelöthet, die inwendig über die Stanniolbelegung an die Wand geschraubt wird. An zwei anderen einander gegenüberliegenden Seitenwänden sind Griffe g angebracht, um die Batterie leichter transportiren zu können. Von der Kugel o der mittelsten Flasche geht ein Rohr o p q aus, das am Ende die Kugel q trägt, die gerade über die Kugel a gerichtet ist. Auf das Rohr p q ist eine Hülse aufgeschoben, die beliebig verschoben und durch das Schräubchen e festgestellt werden kann. Mit dieser Hülse

ist die zweite Hülse d durch ein Gelenk verbunden, so daß d um die von e nach d gedachte Linie drehbar ist; in dieser Hülse d kann der Draht d f mit Reibung verschoben werden, so daß er seine Lage in der Hülse nicht von selbst verändert; am einen Ende trägt dieser Draht die kleine Kugel f, am anderen ein hölzernes Heft h, wobei man ihn anfaßt, wenn während oder nach der Ladung irgend eine Veränderung in der Stellung des Drahtes vorgenommen werden soll. Diese letztere Einrichtung dient als eigentlicher Ladungsapparat.

Um diese Batterie zu laden, stellt man sie auf den Tisch in die Nähe des Conductors der Maschine. Die Ladungskugel q wird meist tiefer stehen als der Conductor; es ist aber immer möglich, dem Draht

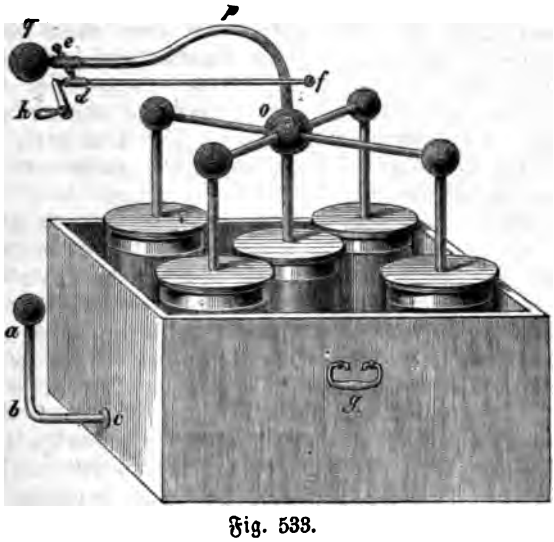


Fig. 533.

d f eine solche Lage zu geben, daß die Kugel f sich an die Conductorkugel der Maschine anlegt. Von der mit den äußeren Belegungen verbundenen Leitungsröhre a b c führe man nun eine Kette nach der Erde oder nach dem negativen Conductor der Maschine, so ist die Batterie zur Ladung vorbereitet, welche durch einfache Drehung der Maschinenscheibe bewirkt wird.

Ist die Ladung bewirkt, so drehe man den Draht d f, beim Heft h anfassend, so daß die Kugel f vom Conductor entfernt wird, um die Batterie außer Verbindung mit der Maschine zu bringen. Ist von a die dort angehängte Kette zum negativen Conductor geführt, so entferne man auch diese, etwa mit einem Glasstabe. Man wird deshalb lieber die Kette nur nach der Erde führen, um dieses Geschäfts überhoben zu sein. Soll dann blos die Batterie entladen werden, ohne den elektrischen Strom durch bestimmte Körper durchzuleiten, so bedient man sich dazu des Aus-

laders (Fig. 528), öffnet die Scheere so, daß ihre Kugeln so weit von einander abstehen als die Kugeln a und q der Batterie, faßt den Auslader beim Glasgriff a, setzt die eine Kugel auf die Kugel a der äußeren Belegung der Batterie und nähert die andere der Kugel q der inneren Belegung, so wird schon ehe diese letzteren Kugeln einander berühren, ein intensiver, laut knallender Funke zwischen beiden überspringen.

Soll aber der Schlag durch einen bestimmten Körper geführt werden, so muß man diesen zwischen den Kugeln f, f oder zwischen den an die Stelle der Kugeln gebrachten Spitzen, des Henley'schen Ausladers (Fig. 529) bringen, je nach der Beschaffenheit des Körpers, frei in der Luft, oder so, daß er von der Tischplatte D getragen wird. Mit dem einen Ring e des Ausladers verbindet man die Kugel a (den Arm abc) der Batterie durch einen Leiter (Draht oder Kette), dreht den Auslader so, daß die Kugel f des Drahtes d f der Batterie durch geeignete Drehung den anderen Ring des Ausladers erreichen kann, sobald f sich dem Ringe e nähert, wird auch der Schlag durch den zwischen den Kugeln oder Spitzen f, f befindlichen Körper gehen. Daß Drähte, die man durch den elektrischen Schlag ins Glühen bringen will, zwischen die Klemmen (Fig. 530) gespannt werden, ist bereits oben gesagt.

Die Wirkung der Leydener Flasche und dann auch die der Batterie hängt in sehr hohem Grade von der Beschaffenheit des Glases ab; es giebt Glas, das eine daraus bestehende Flasche ganz unwirksam macht, weil es leitet. Schon Musschenbroek (vor mehr als hundert Jahren) bemerkte, daß deutsches und böhmisches Glas jedem anderen vorzuziehen sei. Ehe man aus einer Glassorte eine Batterie von mehreren Flaschen machen läßt, prüfe man wenigstens die erste derselben, ob sie sich wirklich lade. Ob übrigens das Glas leite, kann man auch durch einen galvanischen Strom, in den man das Galvanometer einschaltet, leicht finden.

Wenn man den elektrischen Schlag durch mehrere auf einander geschichtete weiche Körper, z. B. durch eine Anzahl Papier- oder Kartenblätter führen will, so muß man sie vorher dicht an einander pressen, damit nur möglichst dünne Luftschichten dazwischen bleiben. Dazu dient die in (Fig. 534) perspectivisch dargestellte Presse; AB und CD sind zwei Brettchen von hartem Holze (etwa Buchsbaum), 8 cm lang, 4 cm breit, 8 mm dick. In der Mitte ist aus beiden eine kreisförmige Oeffnung a von 1,5 bis 2 cm Durchmesser ausgeschnitten; in das untere Brettchen CD sind zwei mit Gewinden versehene Spindeln d, e fest eingesetzt; AB ist an den betreffenden Stellen durchbohrt, so daß es auf diese Spindeln aufgeschoben werden kann. Wenn ein Körper zwischen die Brettchen gelegt ist, schraubt man diese durch Muttern fest zusammen, wie die Figur zeigt. Man legt dann die Presse so auf das Tischplatt des Henley'schen Ausladers, daß die Schrauben horizontal, die Ebenen der Bohrungen a also vertical zu stehen kommen, stellt das Tischplatt in solche Höhe, daß die horizontal gestellten Entladungsarme des Ausladers mit ihren Kugeln in die Oeffnungen a treffen. Gerade so bedient man sich dieser Presse, wenn, statt der Kugeln, die Spitzen des

Ausladers zur Verwendung kommen. Auch kann die Presse ihre Dienste leisten, wenn starre Körper, z. B. dünne Platten aus irgend welchen Stoffen, wie Glas, Glimmer u. s. w. dem elektrischen Schlage ausgesetzt werden sollen, weil sie dann, zwischen die Presse gebracht, leicht vertical gestellt werden können.

Einfache biegsame Körper, z. B. ein Kartenblatt, lassen sich durch eine einzelne Flasche aus freier Hand durchbohren. Man setzt die geladene Flasche auf den Tisch, hält mit der linken Hand das Blatt vertical gegen den Knopf, legt mit der rechten die eine Kugel des Ausladers (Fig. 527) gegen die äußere Belegung und nähert die andere Kugel der Karte; sie wird dann sogleich vom Funken durchbohrt.

Gerade so verfährt man, wenn Colophonium entzündet werden soll. Man bindet ein Flöckchen lose Baumwolle an das Ende einer 2^{dm} langen Glasröhre, lockert es gehörig auf und schüttet das fein gepulverte Harz

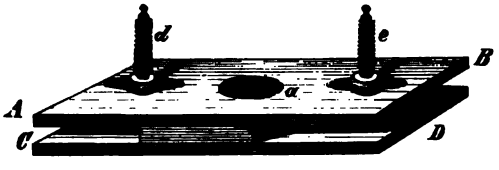


Fig. 534.

Fig. 535.

durch ein Haar- oder Gazesieb auf die Baumwolle; dann nähert man die so bestreute Flocke mit der einen Hand dem Knopfe der auf den Tisch gestellten, geladenen Flasche und verfährt mit dem Auslader wie eben gesagt; bei der Entladung wird sich das Colophonium entzünden.

Ohne Batterie, mit einer einzelnen nicht zu kleinen Flasche läßt sich noch folgender Versuch anstellen, der die mechanische Wirkung des Entladungsschlages zeigt. Eine Glasröhre a b (Fig. 535) von 1^{dm} Länge, $1{,}5^{cm}$ Weite aus ziemlich starkem Glase soll durch den Schlag zersprengt werden. Man biegt zuerst vor der Schmelzlampe die Ränder beider Oeffnungen etwas nach Außen um, damit man desto leichter passende Korkpfropfen einbringen kann. Dann verschließe man die eine Oeffnung mit einem dichten Kork und überdecke den Kork und Glasrand auch noch mit Siegellack, um desto sicherer den Luftzutritt von dieser Seite der Röhre zu verhindern. Vor dem Einsetzen des Korks wird jedoch durch denselben der Draht c e geführt, der nach Außen, bei c, zu einem Haken gebogen ist, und immer eine kleine Kugel hat, die auf ihn aufgeschraubt ist. Man bohrt den Kork mit einem am einen Ende zugespitzten Eisendraht durch, nimmt die Kugel e vom Messingdraht c e,

steckt diesen durch die Bohrung und schraubt die Kugel wieder auf. Nun erst wird der Kork, wie oben bemerkt, ins Glasrohr eingesetzt. Wenn die Glasröhre von der durch die Uebersiegelung bewirkten Erhitzung wieder kalt geworden, fülle man sie mit Wasser und setze den zweiten, eben so vorbereiteten, mit einem Draht c e versehenen Kork b ein; hier muß streng darauf gesehen werden, daß auch nicht ein einziges Luftbläschen unter dem Kork im Rohr zurückbleibt, weil dies das Gelingen des Versuchs unmöglich machen würde. Ist dies gelungen, so stelle man den zweiten Draht durch Verschieben so, daß beide Kugeln nur noch 1—2 mm von einander abstehen, trockne die Röhre rein ab und versiegle den zweiten Kork eben so, wie den ersten. Man wickle die Röhre in ein Tuch, lege sie auf den Tisch, hänge an den einen Haken c eine Kette, fasse das andere Ende dieser Kette mit der Hand, mit welcher man zugleich die Leydener Flasche bei der äußeren Belegung festhält, so daß die Kette in innige Berührung mit der äußeren Belegung kommt, und nähere den Knopf der Flasche dem Haken c des anderen Drahtes. Der Entladungsschlag wird, wenn nur keine Luft ins Rohr eingedrungen ist, unfehlbar die Glasröhre entzwei sprengen.

Ketten, wie sie gewöhnlich zu Elektrisirmaschinen geliefert werden, sind zu diesem, wie zu manchen anderen Versuchen zu schwer. Ich bediene mich daher in vielen Fällen der bekannten messingenen Drahtfedern, die in jeder Kurzwaarenhandlung zu bekommen sind; der Draht ist sehr dünn, und würde zur Leitung hier zu dünn sein; die Spiralwindungen desselben liegen aber dicht an einander an, daher die Leitung des elektrischen Stromes durch die ganze Oberfläche der etwa 3 mm im Durchmesser haltenden Feder, nicht durch den einzelnen Draht, geschieht. Am einen Ende eines für den vorliegenden Zweck gerade lang genug geschnittenen Stücks solcher Federn zieht man ein etwa 1 cm langes Stück Draht aus, biegt es zum Ring, den man über den Haken c hängt, während mit dem anderen Ende wie oben gesagt verfahren wird. Um dennoch bei dem Versuche die Röhre a b vor dem Verrücken zu sichern, lege man sie lieber auf ein Brett, das auf den Tisch gelegt wird, und lege an zwei Stellen Bindfaden darüber, deren Enden man mit Drahtstiften oder kleinen Drahthäkchen dicht an der Röhre festbindet; man kann diese Befestigung unter oder über der Umwickelung der Röhre anbringen.

Es hält einigermaßen schwer, bei der Zubereitung der Röhre alle Luft fern zu halten; es gelingt dann zuletzt freilich, aber erfordert doch zuweilen Wiederholungen des Verschlusses, was zeitraubend ist. Vielleicht ginge es leichter mit Wasser, das man kurz vorher durch Kochen oder unter der Luftpumpe von aller absorbirten Luft befreit hat; ich habe es noch nicht versucht, möchte aber Andere, die den Versuch machen wollen, darauf aufmerksam machen.

Glas durch den elektrischen Schlag zu durchbohren ist auf die verschiedenste Weise versucht worden; der Versuch gelingt auch bei mehreren ganz von einander abweichenden Anordnungen, aber man muß stets, wie

man ihn auch anstellen mag, mit einer gewissen Präcision verfahren. Wenn man nicht über sehr bedeutende Mittel gebieten kann, so muß man nur dünne Glasscheiben nehmen; eine Hauptsache ist gute Isolirung der Stelle, wo das Glas durchbohrt werden soll. Der elektrische Strom zertheilt sich nämlich, da das Innere des Glases so sehr schlecht leitet, gern über die Oberfläche, wo gewöhnlich eine Schicht Feuchtigkeit haftet, nach allen Seiten. Ist der Weg von diesem Punkte aus zum Rande des Glases nur kurz, so schlägt der Funke über den Rand und die beiden entgegengesetzten Elektricitäten vereinigen sich auf der Oberfläche des Glases. Etwas hilft dagegen Erwärmung des Glases; aber es ist doch nicht sicher. Man hat daher vorgeschlagen, die Wand eines Glases an zwei entgegengesetzten Punkten zu durchbohren, und zwar so weit, daß man Korkpfropfen einstecken kann, durch welche zwei zugespitzte Drähte, die an den äußeren Enden zu Haken umgebogen sind, durchgeführt werden. In das Glas stellt man vertical die zu durchbohrende Glasscheibe so, daß beide Spitzen einander gerade gegenüber stehen; dann gießt man Oel in das Glas, so daß es hoch über den Spitzen steht, verbindet die Haken mit der äußeren und inneren Belegung einer stark geladenen Flasche oder einer Batterie, so wird der Entladungsschlag die Glasscheibe durchbohren.

Ich werde hier noch ein anderes Verfahren zu gleichem Zwecke beschreiben. Von den Entladungsdrähten AB, CD (Fig. 536) des

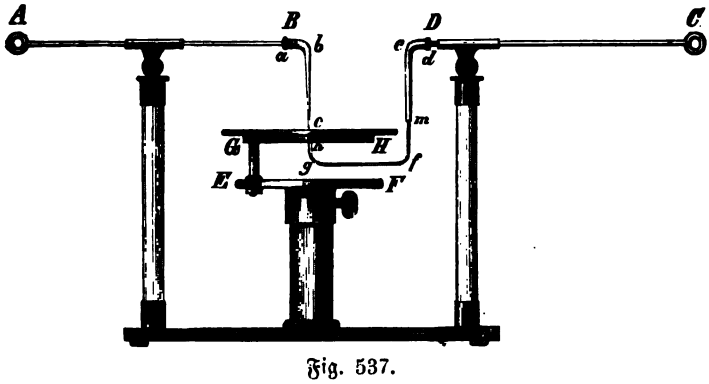


Fig. 537.

Henley'schen Ausladers nehme man die Kugeln f, f und schraube auf den einen Draht die Metallspitze abc, auf den anderen die Metallröhre dem; beide sind bei b und e rechtwinklig gebogen; in die Röhre dem läßt sich der bei f und g rechtwinklig gebogene, bei h zugespitzte Draht mfgh mit Reibung einschieben, mehr oder weniger, je nach Bedürfniß. Auf die Tischplatte EF des Ausladers, schraube man die Platte GH, die in der Mitte durchbrochen ist; dieselbe ist in (Fig. 537) in perspec-

tivischer Ansicht dargestellt. Auf die Platte GH legt man die zu durchbohrende Glasplatte; mittelst der beweglichen Tischplatte EF und durch Verschiebung der Röhre mfgh wird man leicht die beiden Spitzen bis dicht gegen das Glas einstellen; sie einander gerade gegenüber zu bekommen, dienen die Drähte AB, CD, welche bekanntlich in ihren Hülsen der Länge nach verschoben und in den Gelenken auf den Tragständern beliebig in der Horizontalebene gedreht werden können; daß die Drähte AB, CD bei diesem Versuche horizontal gestellt werden müssen, sieht man ein. Man erwärme nun die Glasplatte an der Stelle, wo sie durchbohrt werden soll, und lege um jede der beiden Spitzen herum auf das Glas einen isolirenden Körper, z. B. einen Tropfen Oel, oder etwas Wachs. Verbindet man jetzt den Ring A mit der äußeren, B mit der inneren Belegung der Batterie (d. h. mit der Entladungskugel) auf die bereits beschriebene Weise, so wird der Schlag ein feines Loch durch die Glasscheibe bohren. Der Apparat ist zwar etwas zusammengesetzt, aber er hat von anderen Zusammenstellungen zu demselben Zweck den Vorzug, daß alle Theile eine feste Stellung haben, wozu die oben beschriebene Verbesserung des Henley'schen Ausladers viel beitragen wird.

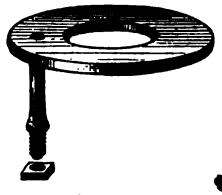


Fig. 537.

XV. Galvanismus.

1. Fundamentalversuche.

Der erste Versuch über Berührungselektricität wird mit einer Kupfer- und einer Zinkplatte angestellt, welche beide mit isolirenden gläsernen Griffen versehen sind (Fig. 538). Die Platten müssen vollkommen eben, sehr sorgfältig polirt und an den einander zugekehrten Flächen rein metallisch, also nicht gefirnißt sein. Daß die Ränder beider Platten schön abgerundet sein müssen versteht sich von selbst. Wenn diese Platten längere Zeit ungebraucht gelegen haben, sind sie durch die Luft und Feuchtigkeit immer etwas oxydirt; man sollte daher vor dem Gebrauch die Oxydschicht entfernen. Es geschieht dies bei beiden Metallen mit Wienerkalk und Stearinöl.

Um die Oxydation möglichst zu verhindern, wickle man die Platten während der Aufbewahrung in Seidenpapier; es wird dies zwar dem Uebel nicht ganz vorbeugen, es aber doch vermindern. Vor dem Versuche damit wische man die gläsernen Griffe mit einem erwärmten Tuche ab, oder erwärme die Griffe selber etwas und reibe sie dann ab, um alle Feuchtigkeit zu entfernen. Man stelle dann das Goldblattelektroskop mit darauf gesetztem Condensator vor sich hin, und klebe ein mit Wasser befeuchtetes Blättchen Papier an die untere Fläche der unteren Condensatorplatte. An dieses Blättchen soll beim Versuche die Elektricität der einen Erregerplatte übergetragen werden, nicht unmittelbar an das

Messing des Condensators, weil z. B. das Zink in Berührung mit dem Messing eine elektromotorische Wirkung ausüben würde, die das Ergebniß des Versuchs trüben müßte. Während des nun folgenden Versuchs muß die obere Condensatorplatte fortdauernd mit der Erde in leitende Verbindung gesetzt werden; am einfachsten und leichtesten erreicht man diese Ableitung, wenn eine zweite Person einen Finger beständig auf die Condensatorplatte hält. Nach diesen Vorbereitungen bringt man die Platten, sie einander in paralleler Lage nähernd, in Berührung mit einander, trägt die eine, wir wollen annehmen, es sei die Zinkplatte, an die untere Condensatorplatte über (an der Stelle, wo das Papier sitzt), und berührt dann beide Platten ableitend, um sie in den vollkommen unelektrischen Zustand zurückzuführen. Da nun dieselbe Operation 20—25 Mal wiederholt werden muß, so sollte man ein gewisses taktmäßiges Verfahren befolgen, weil dann das ganze Geschäft rascher von Statten geht, aber besonders auch darum, weil man dabei weniger dem Fehlgreifen ausgesetzt ist. Man kann nämlich ungemein leicht irren, z. B. das Neutralisiren der Platten vergessen, oder irgend ein anderes Versehen machen; ein immer gleiches und taktmäßiges Verfahren, worauf man sich ja vor dem eigentlichen Versuche einüben kann, wird dagegen schützen. Nach öfter wiederholtem Uebertragen der Zinkplatte an die untere Condensatorplatte hebe man die obere Platte des Condensators auf. Sind die Umstände günstig, nicht zu viele Personen, welche die Luft feucht machen, im Zimmer und ist die Luft an sich trocken, so werden die Goldblättchen des Elektroskops etwas divergiren, und prüft man sie auf die Art der Elektricität mittelst einer geriebenen Harzstange, so wird man finden, daß sie, so lange diese in ihrer Nähe ist, zusammen, aber nachdem die Harzstange entfernt worden, sogleich wieder auseinander gehen. Die untere Platte des Condensators war also mit positiver Elektricität geladen. Hätte man bei dem Versuche die Kupferplatte an die untere Condensatorplatte übergetragen, so würde, nach Aufheben der oberen Condensatorplatte, das Elektroskop sich negativ geladen erweisen.

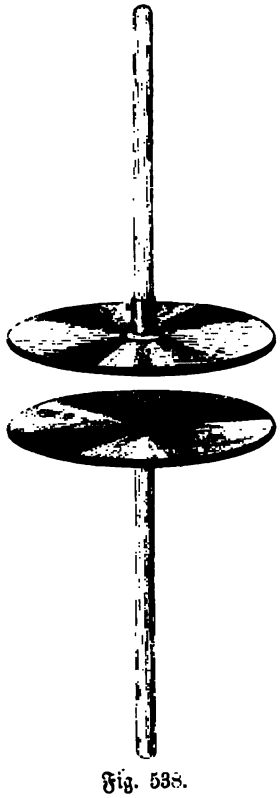


Fig. 535.

Es ist schon gesagt, daß die Goldblättchen nur unter günstigen Umständen divergiren werden; in der That mißlingt dieser Versuch sehr

oft, weil eben leitende Feuchtigkeit sich auf die dabei gebrauchten Körper niederschlägt, was, da die Menge der durch Berührung erregten Elektricität äußerst gering ist, sofort die ganze Wirkung vernichtet.

Man kann den Versuch auch so anstellen, daß man, ohne eine Condensatorplatte ableitend zu berühren, nach der gegenseitigen Berührung der Erregerplatten, eine an die obere, eine an die untere Condensatorplatte überträgt (Fig. 539); ist dies mehreremal geschehen, so wird man dieselben Erfolge haben, wie beim vorigen Versuch. Selbstverständlich müssen hier beide Condensatorplatten mit Papierblättchen versehen sein. Statt dessen kann man auch einen Condensator aus einer Kupfer- und einer Zinkplatte gebrauchen und jede Erregerplatte an die ihr gleichnamige übertragen. Der Erfolg wird derselbe sein.

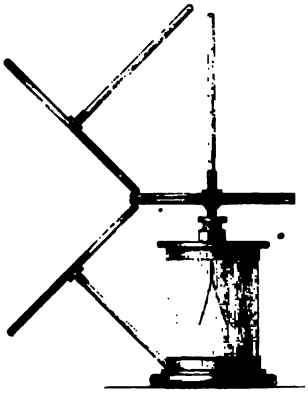


Fig. 539.

Der Versuch läßt sich noch auf eine andere Art anstellen. Man löthe einen Streifen Zink z und einen Streifen Kupfer k (Fig. 540) mit zwei Enden aufeinander, so daß jedes Metall etwas über das andere übergreift, nehme einen Condensator, dessen eine Platte aus Kupfer besteht, bringe die untere Platte auf beliebige Weise mit der Erde in leitende Verbindung, z. B. indem man sie mit dem Finger berührt, fasse das Zinkende des zusammengelötheten Metallstreifens und berühre mit dem Kupferende die kupferne Condensatorplatte; hebt man dann diese Platte ab und bringt sie an ein Elektroskop, so zeigt sich die Platte negativ geladen, weil hier die Elektricität durch die bleibende Berührung zweier heterogener Metalle erregt, die positive des Zinks durch die Hand abgeleitet, die negative des Kupfers der kupfernen Condensatorplatte zugeführt wird. Berührte man eine Condensatorplatte aus Zink mit dem Kupferstreifen, so würde keine Ladung entstehen, weil jetzt das Kupfer zwischen zwei gleichartigen Metallen läge; die dem Zinkstreifen zugehörige positive Elektricität wird natürlich durch die berührende Hand nach der Erde abgeleitet. Berührte man eine Condensatorplatte aus Zink mit dem Zinkende des Streifens, so würde man, wenn die andere Platte mit dem Finger berührt wird, in der Platte positive Elektricität bekommen.

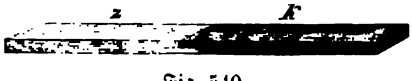


Fig. 540.

Man kann den Versuch auch nach Anleitung der (Fig. 541) anstellen. Man nehme einen Condensator aus einer Kupfer- und einer Zinkplatte und setze ihn auf das Elektroskop; die Platten dürfen an den äußeren Flächen nicht gefirnißt sein; dann biege man einen Streifen

Kupfer wie a b c und eben so einen Streifen Zink. Hat man das Zink zur unteren Condensatorplatte genommen, wie in der Figur angedeutet ist, so fasse man den Kupferstreifen mit der Hand und klemme ihn über beide Platten, so wie die Figur zeigt. Nimmt man dann den Streifen a b c wieder fort und hebt die obere Platte ab, so zeigt das Elektroskop positive Elektricität an. Macht man die Kupferplatte zur unteren Condensatorplatte, die Zinkplatte zur oberen, und stellt den Versuch mit dem Zinkstreifen eben so an, wie vorher mit dem Kupferstreifen, so wird das Elektroskop negativ geladen. Die Erregung geschieht in beiden Fällen an der Stelle, wo die ungleichartigen Metalle sich berühren. Im ersten dieser beiden Versuche erhält das Zink die positive Elektricität, die negative des Kupferstreifens wird durch die berührende Hand abgeleitet, die + El. der Zinkplatte bindet auf der Kupferplatte negative El., theils ist dies die der Platte k eigene — El., theils solche — El., welche durch den Kupferstreifen und die Hand aus der Erde angezogen

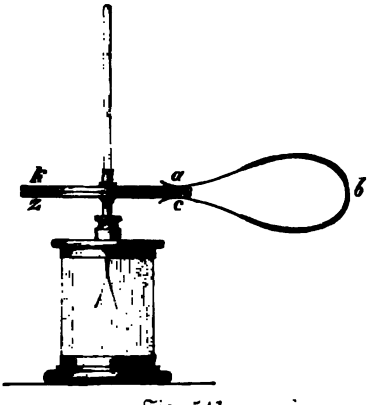


Fig. 541.

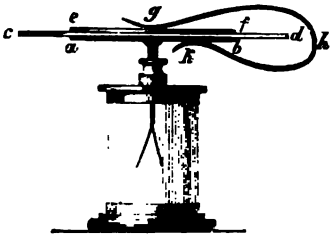


Fig. 542.

wird. Die positive der Platte k wird durch den Kupferstreifen und die Hand nach der Erde abgeleitet. Ebenso erklärt sich der zweite Versuch.

In ganz ähnlicher Weise, wie der vorige Versuch gemacht wurde, kann man auch die elektromotorische Wirkung der Flüssigkeiten, wenn sie mit Metallen und anderen Leitern in Berührung kommen, untersuchen. Auf das Elektroskop (Fig. 542) wird eine kupferne Condensatorplatte a b aufgeschraubt, auf diese legt man eine ebene und dünne Glasscheibe c d die etwas größer als die Condensatorplatte ist; auf die Glasscheibe legt man dann ein Blatt Löschpapier e f, welches man mit der zu prüfenden Flüssigkeit getränkt hat, wo dann die Flüssigkeitsschicht die obere Condensatorplatte bildet, und verbindet die untere Seite der Condensatorplatte mit dem befeuchteten Löschpapier durch einen Draht g h k aus demselben Metall wie die Platte a b, also hier aus Kupfer. Hat man beim Versuche Wasser als Flüssigkeit angewendet, so wird die Conden-

satorplatte a b, mag sie aus Kupfer oder Zink bestehen, wenn nur der Draht g h k aus demselben Metall besteht, allemal negativ elektrisch, also das Wasser positiv. Stark verdünnte Schwefelsäure wird positiv mit Zink, Blei, Eisen und Kupfer (diese Metalle also negativ); Platin dagegen wird positiv.

2. Galvanische Ketten.

Bei allen Formen der galvanischen Ketten müssen die äußersten oder Polplatten durch Drähte mit dem Körper, den man dem Strome aussetzen will, verbunden werden; ja selbst in einer Zusammenstellung eines Rheomotors (Stromerregers) aus mehreren Elementen werden die Elemente durch Drähte oder Streifen aus Kupfer unter einander verbunden. Um die Kupferdrähte und Kupferstreifen an die Elemente zu befestigen, dienen Klemmen, deren es verschiedene Arten giebt; man bedient sich der einen oder anderen, je nach der Form der Elemente.

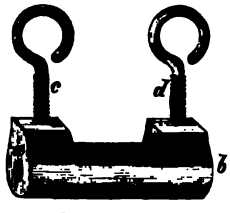


Fig. 543.

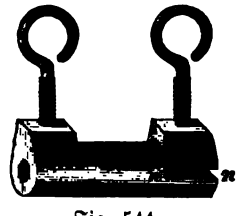


Fig. 544.

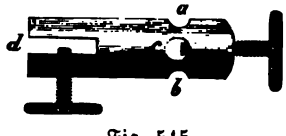


Fig. 545.

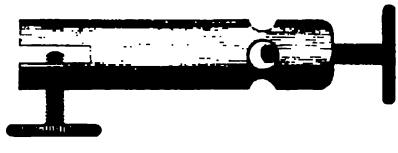


Fig. 546.

Eine bei Drähten sehr anwendbare Klemme stellt (Fig. 543) vor. Sie wird von Messing gegossen, von a nach b hin ganz durchbohrt, in der Weite der stärksten zur Verwendung kommenden Drähte; für die Schrauben c und d werden noch Löcher bis zum Canal a b gebohrt und mit dem Schraubgewinde der Spindeln c, d versehen; diese werden oben blos zu Ringen umgebogen. Sägt oder feilt man, wie bei (Fig. 544) unter der einen Schraube eine Schicht n n Metall aus, so kann man hier die Klemme an ein Metallblech befestigen, während auf der anderen Seite ein Draht eingesetzt werden kann. Dies letztere erreicht man auch durch die Form der (Fig. 545), welche von a nach b und dann noch bei c rechtwinklig darauf durchbohrt ist, während bei b Platten und Bleche eingesetzt und festgeschraubt werden können. Zuweilen ist es erforderlich, die Befestigungen etwas weiter auseinander zu halten. Dann dient die etwas längere Form der (Fig. 546).

Die durch (Fig. 547) dargestellte Klemme ist für Kohlenelemente bestimmt, wenn die Kohle rechteckige Form, oder doch Endstücke dieser Form hat. Mit dem Raum a wird die Klemme über das Kohlenstück gestülpt; b ist eine Messingplatte, die oben eine Schraubenspindel c hat, auf welche die Mutter m mit Flügelgriffen paßt, die zuerst gelöst wird. Die Spindel c ist durch den Ausschnitt e geführt; die Platte b ist also hin und her beweglich so weit der Ausschnitt e reicht. Wenn der ganze Apparat auf die Kohle gelegt ist, schiebt man die Platte b mittelst der Schraube d fest gegen die Kohle an, legt einen Kupferblechstreifen wie n mit dem Ausschnitt o unter die Flügelschraube m und zieht diese fest an.

Diese Klemmen sollten immer schön blank gehalten werden, namentlich an den Stellen, die mit den in sie eingeschraubten Drähten und Blechen in Berührung kommen; dasselbe gilt von den eingeklemmten Drähten. Es ist nicht zu vermeiden, daß die Metallflächen anlaufen; Luft und Feuchtigkeit sind schon ausreichend, das Messing zu oxydiren; aber bei galvanischen Versuchen hat man es viel mit Säuren zu thun; die flüchtigen Säuren, wie Salpetersäure, oxydiren die Metalle durch ihre sich im Raum des Zimmers verbreitenden Dämpfe; überdies ist bei allen Flüssigkeiten, die man bei den Versuchen gebraucht, nicht zu vermeiden, daß sie mit den Klemmen in Berührung kommen. Dadurch werden sie oxydirt und Oxyd ist ein schlechter Leiter; die aufgebauten Elemente werden also um so weniger wirken, je mehr die zur Fortleitung des Stroms bestimmten Körper oxydirt sind. Die schlechte Leitung zeigt sich an der starken Erhitzung, welche die im Strom befindlichen Metalltheile erfahren. Das Reinigen der Drahtenden geschieht durch Sand- und Smirgelpapier. Man sollte aber die Stellen der Drähte, an welchen sie geputzt werden sollen, erst gerade klopfen; die Arbeit geht dann rascher von Statten als wenn sie krumm sind. Die Flächen an den Klemmen können, wo man zukommen kann, geschabt werden, wozu man ein Stahlinstrument mit scharfer Kante benutzt, etwa eine nicht zu dünne Messerklinge; sonst kann man sich auch ein geeignetes Instrument machen lassen. Aeußere Flächen kann man mit Smirgelpapier abreiben; manche Stellen werden mit einer dünnen und feinen Schlichtfeile geputzt werden müssen.

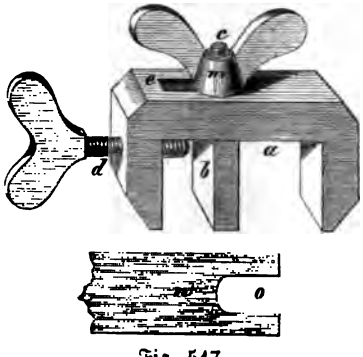


Fig. 547.

Die ursprüngliche und älteste Form der galvanischen Ketten ist die volta'sche Plattensäule. Sie wird zwar, da man jetzt vortheilhaftere Construction hat, zu eigentlich galvanischen Arbeiten und Versuchen nicht mehr gebraucht; aber schon aus historischem Interesse und selbst aus theoretischen Gründen wird sie immer Wichtigkeit behalten, und sollte

in jedem Cabinet wenigstens ein kleineres Exemplar vorhanden sein. Einige Elemente einer solchen Plattensäule sind durch (Fig. 548) dargestellt. Eine Kupfer- und eine Zinkplatte, die auf einander gelegt sind, bilden die Erreger; auf sie wird, als Leiter, eine mit verdünnter Schwefelsäure befeuchtete Pappscheibe oder ein eben so behandelter Tuchlappen gelegt, dann werden dieselben Elemente in immer gleicher Ordnung wiederholt, so viele man deren hat. An die äußersten Platten werden Kupferstreifen oder Drähte aus demselben Metall gelöthet; diese bilden die Pole der Säule; mittelst geeigneter Drahtklemmen kann man die Drähte verlängern indem man andere daran anschließt, die dann zu dem Körper geführt werden, wo der Strom geschlossen werden soll. Bei dieser Art, die Säule aufzubauen, wo auch die äußersten oder Polplatten doppelt genommen werden, geht der positive Strom vom Zink-, der negative vom Kupferende aus. Hätte man, wie es in den Darstellungen geschieht, die unterste Kupfer- und oberste Zinkplatte fortgelassen, so bildete die äußerste Kupferplatte den positiven, die äußerste Zinkplatte den negativen Pol; diese äußersten Platten wären dann nur noch einfache Leiter. Man kann die Säule isolirt aufbauen, oder auch so, daß das unterste Plattenpaar mit der Erde in leitender Verbindung steht. Auf die Menge der gelieferten Elektricität und auf die Richtung der beiden Ströme hat dies keinen Einfluß, wohl aber auf die Spannungserscheinungen an den einzelnen Plattenpaaren. Im ersten Falle nämlich bildet das mittelste Plattenpaar eine Indifferenzzone und die äußersten Elemente haben entgegengesetzte Spannungszustände im Maximum der Intensität; die Säule ist bei dieser Vertheilung der Spannungen einem geradlinigen Magnetstab zu vergleichen. Leitet man dagegen den unteren Pol ab, indem man die Säule auf dem bloßen Tisch aufbaut, so erhält das oberste Element doppelt so große Spannung als bei der isolirten Säule von gleich viel Plattenpaaren, das unterste dagegen o, d. h. es ist unelektrisch. Daher ist denn die Wirkung beider Säulen dieselbe, denn der Gegensatz zwischen + e und — e ist derselbe wie der zwischen o und + 2e.

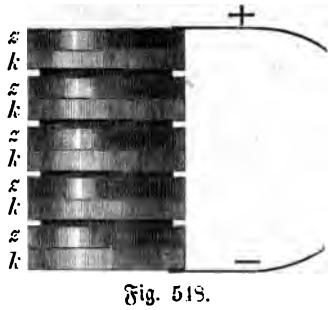


Fig. 548.

Eine noch jetzt übliche Anwendung der Plattenform ist die Zamboni'sche oder trockene Säule. Mit einer Art Durchschlag (ein Instrument wie ein Locheisen, aber von größerer Oeffnung), schlägt man kreisrunde Blätter aus unechtem Gold- und Silberpapier (Kupfer und Zink oder Zinn), schichtet sie in einer sorgfältig ausgetrockneten Glasröhre so auf einander, daß immer zwei Metallbelegungen in derselben Ordnung auf einander zu liegen kommen. Die Röhre ist an beiden Enden mit Metallfassungen versehen, überdies geht durch die obere

Fassung eine Schraube c (Fig. 549), durch welche die Blätter dicht auf einander gepreßt werden können. So etwa würde die Säule aussehen, wenn sie um ihrer selbst willen gebaut würde; das kommt jetzt aber nicht vor, man baut sie eben zu besonderen Zwecken in Verbindung mit anderen Apparaten, wie wir gleich sehen werden.

Was die Wirkung der Säule anlangt, so ist sie dem inneren Verlaufe nach dieselbe, wie die der hydroelektrischen Säulen; die atmosphärische Feuchtigkeit des Papiers nämlich vertritt den Leiter, die beiden Metalle die Erreger. Nach einigen Jahren hören die Säulen auf zu wirken. Man sollte kaum meinen, daß es von einem Austrocknen des Papiers herkomme, da dieses eben nur so viel Feuchtigkeit haben soll, als überhaupt jederzeit in der Atmosphäre ist; wenn überhaupt ein Austrocknen statt fände, so müßte eben so auch wieder eine Absorption eintreten und das Papier immer wieder von Neuem feucht machen. In der verschlossenen Glasröhre ist wohl beides nicht vorhanden. Eher wäre anzunehmen, daß die Metallflächen im Laufe der Zeit sich oxydirten und dann nicht mehr durch Berührung Elektricität erzeugten.

Fig. 549.

Bohnenberger's Elektrometer. Mittelst der trockenen Säule baut man ein Elektroskop auf, das für Spannungselektricität alle anderen an Empfindlichkeit übertrifft. Die Säule AB (Fig. 550) liegt horizontal auf zwei Unterlagen l, l; c, c sind zwei Schlußschrauben; die Fassungen nehmen die Glasröhre mn mn auf, welche hier viel weiter als die Säule op op ist. Bei a, a haben die Fassungen Ansätze, an denen sich in Charnieren die Drähte bd, bd bewegen; d, d sind noch zwei Charniere, in denen sich die Messingplatten e, e drehen lassen; diese können parallel oder so, wie die Figur zeigt, gestellt werden und bilden die eigentlichen Pole der Säule. Dieser Apparat ist in den Kasten CDEF gesetzt, welcher aus einem Holzrahmen und gläsernen Seitenwänden besteht; der Deckel ist ebenfalls von Holz, hat entsprechende Einschnitte, um die Drähte bd durch zu lassen. Auf dem Deckel EF ist eine Glocke mit Fassung G angebracht; die Fassung trägt an einem Stab f ein einzelnes Goldblatt g; auf der Glocke ist ein Condensator angebracht.

Das Goldblatt g wird von beiden Polen der Säule gleich stark angezogen, bleibt also zwischen den Polen in Ruhe. Wird aber dem Condensator Elektricität mitgetheilt und dann die obere Platte abgehoben, so wird das Goldblatt mit der der unteren Platte geladen; es wird dann vom gleichnamigen Pol abgestoßen, vom entgegengesetzten angezogen; deshalb wird eben das Goldblatt die schwächsten Grade der Elektricität anzeigen. Ist die zu prüfende Elektricität nicht so sehr schwach, so wird bei diesem Elektrometer auch wohl, statt des Condensators, eine messingene Kugel aufgeschraubt.

Die volta'schen Säulen, welche jetzt am häufigsten in Gebrauch sind, sind die constanten; wir beschränken uns auf die zur Zeit am häufigsten gebrauchten Formen.

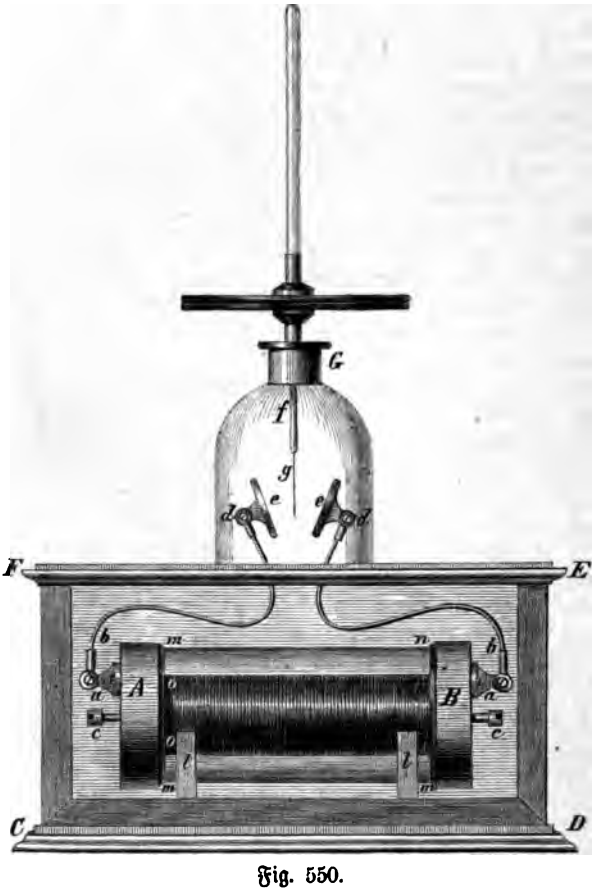


Fig. 550.

Ein Daniell'sches Element (Fig. 551) besteht aus einem cylindrischen Glas A B, dem Kupfercylinder C D, der nur zusammengebogen und gar nicht geschlossen ist, dessen parallele Kanten die Ritze c d zwischen sich lassen; an den oberen Rand ist der Kupferdraht k angelöthet und in die horizontale Lage umgebogen. In den Kupfercylinder wird das poröse Thongefäß T T (mit Boden) eingesetzt, in dieses ein Zinkkloben Z, an welchen wieder ein Kupferdraht z angelöthet und in die Horizontale umgebogen wird. In das Glas A B wird eine concentrirte Lösung von Kupfervitriol, in das Thongefäß verdünnte Schwefelsäure gegossen. Die

Thonzellen bekommt man in den Magazinen zu kaufen. Sie müssen so porös sein, daß die ganze Wandung sich mit der eingefüllten Flüssigkeit durchzieht, damit der elektrische Strom in seinem Kreislauf nicht gehemmt werde. Die Schwefelsäure verdünnt man etwa im Verhältniß von 1:8 bis 1:10 mit Wasser; am richtigsten ist es, die Säure von solcher Stärke zu nehmen, daß das Zink darin eine nicht allzu heftige Gasentwickelung veranlaßt.

Es ist bei allen diesen Ketten zweckmäßig, das Zink zu amalgamiren, einmal, weil dann weniger Zink verzehrt wird, dann aber auch, weil das amalgamirte Zink in Berührung mit verdünnter Schwefelsäure eine stärkere elektromotorische Wirkung hat als bloßes Zink. Der Zinkverbrauch richtet sich, soweit derselbe auf die Erzeugung des Stromes verwendet wird, nach dem Faraday'schen Gesetz; die chemische Wirkung in der Säule ist der Stromstärke proportional. Bei gleicher Stärke des Stromes wird also auch der Zinkverbrauch, selbst bei amalgamirten Zinkcylindern, derselbe sein. Es findet aber in jedem Element einer galvanischen Säule noch eine andere Art des Zinkverbrauchs statt, welche mit dem Strome in keinem Zusammenhang steht. Gewöhnliches Zink, wie es zu Elementen verwendet wird, löst sich in verdünnter Schwefelsäure um so schneller auf, je mehr Säure in der Flüssigkeit enthalten ist; es ist dies einfach der Vorgang der Wasserstoffbildung, der bereits weiter oben besprochen worden. Um einen kurzen Ausdruck zur Bezeichnung dieses Vorgangs zu haben, wollen wir's, wie es üblich geworden, die locale Wirkung der wässerigen Säure auf das Zink nennen. Diese locale Wirkung tritt nun ein, so wie man die Zinkcylinder in die verdünnte Säure einsetzt, noch ehe die Kette geschlossen worden, und dauert während des Geschlossenseins der Kette neben der elektrolytischen Wirkung des Stroms fort, so daß die Gasentwickelung in der geschlossenen Kette eine zwiefache, also vermehrte ist. Man kann dies durch einen einfachen Versuch deutlich zeigen. In ein Glas (Fig. 552) fülle man verdünnte Schwefelsäure und tauche zwei Zinkstreifen ab, cd so ein, daß sie sich weder in der Flüssigkeit, noch außerhalb berühren. Es wird an beiden eine Entwickelung von Wasserstoffgas entstehen, wie man an dem Aufsteigen einer Anzahl kleiner Bläschen bemerken wird. Nun bringe man die Metallstreifen außerhalb der Flüssigkeit in Be-

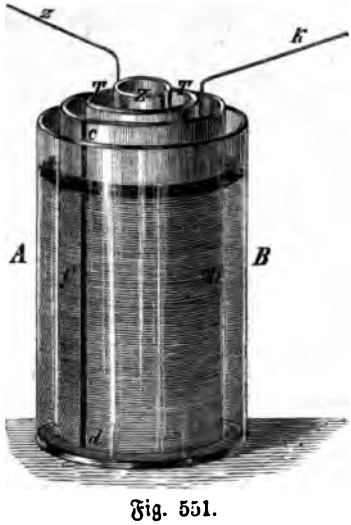


Fig. 551.

rührung, wie (Fig. 553); sofort wird die Gasentwickelung bedeutend zunehmen; im ersten Fall war blos die locale Wirkung vorhanden, im letzten gesellte sich zu dieser noch die elektrolytische Wirkung. Macht man nun dieselben zwei Versuche mit amalgamirten Zinkstreifen, so wird sich nur äußerst wenig Gas entwickeln, so lange sich die Metalle nicht berühren; die reichliche Gasentwickelung tritt aber sogleich ein, wenn sie mit den Enden a, c in Berührung gebracht werden. Bei amalgamirtem Zink ist also die locale Wirkung sowohl vor, wie nach dem Schließen des Stromes auf ein Minimum zurückgeführt, der Zinkverbrauch also ein geringerer als bei nicht amalgamirtem.

Um das Zink der Elemente zu amalgamiren, muß zunächst die Oberfläche rein metallisch gemacht werden. Neue Zinkkloben haben gewöhnlich einen Ueberzug von einem Oxyd; dieses muß entfernt werden, was durch Eintauchen in verdünnte Schwefel- oder Salzsäure geschieht; man nehme aber hiezu die Säure nicht zu schwach, stärker als zur ge-

Fig. 552.

Fig. 553.

wöhnlichen Ladungsflüssigkeit der Elemente; hilft man dann noch durch Reiben mit einer scharfen Bürste nach, so wird man bald zum Ziele gelangen. Man tauche dann die Cylinder in Quecksilber und reibe das daran haften bleibende flüssige Metall mit einem mit der Säure benetzten Tuchlappen darauf ein. Schon gebrauchte Cylinder werden dadurch frisch amalgamirt, daß man, während der Strom im Gange ist, in das Gefäß, in welchem sie sich befinden, etwas Quecksilber eingießt, so daß der Boden davon bedeckt wird und die Zinkcylinder darin zu stehen kommen. Während der Strom im Gange ist, zieht sich dann das Quecksilber an dem Zink in die Höhe und amalgamirt dieses von selbst; nur muß es, nachdem die Elemente aus einander genommen werden, mit einem nassen Lappen etwas darauf eingerieben werden.

Wenn die Zinkcylinder öfter gebraucht werden, setzt sich auf ihrer Oberfläche fein vertheilte Kohle ab und haftet sehr hartnäckig am Metall. In Folge der Gewinnung des gewöhnlichen, nicht chemisch reinen Zinks durch Reduction aus dem Erz mittelst Kohle, enthält dieses Zink etwas Kohle; wenn nun das Zink bei seiner Verwendung in den galvanischen Elementen verzehrt wird, so bleibt die Kohle zurück und überdeckt die Oberfläche des noch vorhandenen Metalls. Vor dem Amalgamiren muß

diese Kohle mit geeigneten Werkzeugen abgeschabt und abgekratzt werden. Zu diesem Zwecke habe ich mir die zwei in (Fig. 554 und 555) dargestellten Schaber machen lassen; ersterer ist für die äußeren, letzterer für die inneren, hohlen Flächen bestimmt. Die wirksamen Metalltheile sind von Stahl und gehärtet.

Daß die Zinkcylinder, wenn sie hohle Flächen haben, auch an diesen amalgamirt werden müssen, versteht sich von selbst. Das Quecksilber, welches man zum Amalgamiren gebraucht, sollte man für sich aufbewahren; da es durch Berührung mit dem Zink seine Flüssigkeit zum Theil verliert, so zieht es Fäden nach sich und kann zu den meisten anderen Versuchen nicht gebraucht werden.

Die zu den Daniell'schen Elementen erforderlichen Flüssigkeiten (verdünnte Schwefelsäure und Kupfervitriollösung) werden in besonderen, großen und gehörig etiquettirten Flaschen aufbewahrt. Da man zu-

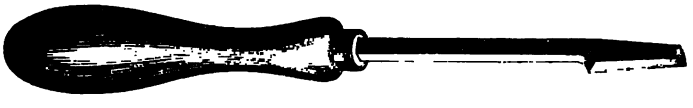


Fig. 554.

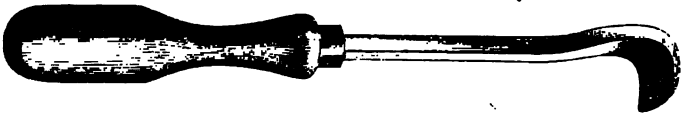


Fig. 555.

weilen eine größere Anzahl Elemente gebrauchen wird, so darf die Menge der zubereiteten Flüssigkeiten nicht zu gering sein. In die Flasche mit dem Kupfervitriol wirft man von Zeit zu Zeit einige Vitriolkrystalle, um die Lösung immer concentrirt zu erhalten.

Wenn die Elemente aus einander genommen werden, gießt man die beiden Flüssigkeiten in die betreffenden, zu ihrer Aufbewahrung bestimmten Gefäße (Flaschen) zurück, die Kupfer- und Zinkcylinder, sowie die Thonzellen steckt man in eine hölzerne Wanne und übergießt sie mit Wasser, so daß sie davon bedeckt werden. Man lasse sie darin bis zum nächsten Tag, setze sie nach dem Herausnehmen wieder zusammen und stelle sie fort. Hat man, wie oben bemerkt, in die Gefäße mit der Schwefelsäure (in die Thonzellen) Quecksilber gegossen, so sammle man dieses und bringe es zu dem zum Amalgamiren bestimmten Quecksilbervorrath, reibe aber auch gleich das an dem Zink haftende Quecksilber ein und spüle dann die Cylinder blos mit frischem Wasser ab.

Die Schwefelsäure verliert bei jedem Gebrauch an Concentration, da ein Theil derselben zur Bildung des Zinkvitriols gebraucht wird. Sie wird daher zu abermaligen Versuchen nicht mehr ausreichen. Um

nun nicht, nachdem die Elemente bereits aufgebaut sind, in die unangenehme Lage versetzt zu sein, in jede Zelle Schwefelsäure nachzugießen, prüfe man vorher den vorhandenen Vorrath, gieße zu diesem Zwecke Etwas davon in ein Becherglas, tauche ein nicht amalgamirtes Zinkstück ein und beobachte die Gasentwickelung; ist sie zu schwach, so gieße man gleich die nöthige Quantität Schwefelsäure in die Flasche, prüfe wieder und fülle dann erst die Elemente, wenn die Säure die erforderliche Stärke hat.

Von der Verbindung der einzelnen Elemente zur Säule (Batterie) wird weiter unten, nachdem alle Arten der Elemente beschrieben worden, die Rede sein.

Das Bunsen'sche Element (Fig. 556) besteht aus dem Glase AB, dem Zinkcylinder CC′ DD′, dem Thongefäß TT und der Kohle K; an das Zink ist der Kupferstreifen k gelöthet, an die Kohle wird die Klemme (Fig. 547) angebracht. In das Glas, wo das Zink steht, gießt man verdünnte Schwefelsäure, in die Thonzelle T concentrirte Salpetersäure. Wird das Element als einzelnes gebraucht, so schraubt man an den Kupferstreifen k eine Klemme wie (Fig. 545), an die Klemme auf der Kohle einen geraden Streifen Kupfer wie n (Fig. 547), so daß der Ausschnitt o unter die Flügelschraube m zu liegen kommt und die Spindel c aufnimmt. An diesen Kupferstreifen wird dann ebenfalls eine Klemme wie (Fig. 545 oder 546) angeschraubt; beiderseits werden dann die Leitungsdrähte in diese letzteren Klemmen eingesetzt. Wird aber das Element in Verbindung mit noch einem (oder mehreren) anderen gebraucht, so wird der am Zink dieses anderen Elements befindliche Kupferstreifen k unter die Flügelschraube m der auf der Kohle befindlichen Klemme gesteckt und festgeschraubt; das zweite oder letzte Element erhält dann ebenfalls solche Kohlenklemme, der am ersten Zink und der an der letzten Kohle befindliche Kupferstreifen bilden die Pole der Säule.

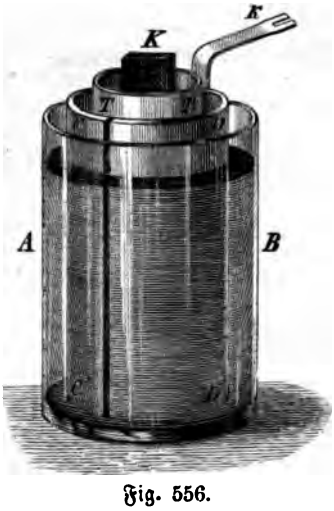


Fig. 556.

In Bezug auf das Zink und die Schwefelsäure gilt hier dasselbe, was oben beim Daniell'schen Element gesagt worden. Man machte früher die Kohlen zu diesen Elementen in Form von Cylindern, um welche dann ein Metallring gelegt wurde, welcher nicht mehr abgenommen werden konnte. Da diese Cylinder hohl waren, so gewährten sie den Vortheil, daß sie von Innen und von Außen mit der Flüssigkeit in Berührung standen. Aber an der Berührungsfläche zwischen der Kohle

und dem Metallring wurde dieser nach längerer Zeit oxydirt, ja es legte sich das durch die Säure gebildete Metallsalz dazwischen, so daß hier die Leitung unterbrochen, die Wirkung der Säule, wenn sie im Uebrigen noch so gut war, fast ganz aufgehoben wurde. Solche Elemente waren daher nur von kurzer Dauer. Wenn auch der Metallring zum An- und Abschrauben eingerichtet wurde, was durch zwei vorstehende Lappen bewirkt wurde, durch die man eine Schraube führte, war doch das Reinigen dieser Fläche eine lästige Arbeit, und die Ringe werden nach und nach immer dünner und dünner, so daß sie zuletzt alle Haltbarkeit verlieren. Die Kohlen erhalten daher jetzt meist die Form von rechteckigen Platten, an die sich eine geeignete Klemme bequem anbringen läßt. Nach dem jedesmaligen Gebrauch sollten die Berührungsstellen zwischen Kohle und Klemme an beiden sorgfältig geputzt werden, um bei nachfolgenden Versuchen wieder vollständige Leitung zu haben.

Die zu diesen Elementen zu verwendende Kohle wird dadurch bereitet, daß man ein Gemenge von völlig ausgeglühten Coaks mit der doppelten Menge möglichst backender Steinkohlen, beide fein gepulvert, bei mäßigem Kohlenfeuer, unter Abschluß der Luft, in Formen von Eisenblech glüht; nach diesem ersten Glühen tränkt man sie mit einer concentrirten Zuckerlösung, wozu man die unkrystallisirbaren Abfälle der Zuckerfabriken verwenden kann, und setzt sie dann der stärksten Weißglühhitze aus. Man verwendet auch wohl die Coaks, welche sich an den inneren Wänden der Retorten der Glasfabriken ansetzen; sie sind außerordentlich hart und dicht, und können nur durch Sägen in die verlangte Form gebracht werden.

Die Salpetersäure muß in diesen Elementen möglichst concentrirt angewendet werden; sie zersetzt sich unter dem Einfluß des Stromes, geht in salpetrige Salpetersäure über und nimmt nach und nach eine grüne Farbe an. Ihre elektromotorische Wirksamkeit nimmt zwar etwas ab, dessenungeachtet kann sie noch lange gebraucht werden; erst wenn sie sich nochmals entfärbt und wieder wasserhell geworden, taugt sie zum Füllen der Elemente nicht mehr und muß weggegossen werden.

Die in der Säure enthaltene salpetrige Säure entwickelt sich während der Versuche fortwährend und mengt sich der Luft bei, die man einathmet; sie wird dadurch sehr lästig, da sie stark zum Husten reizt, besonders wenn man mehrere Elemente in Thätigkeit gesetzt hat. Bei einer geringen Anzahl Elemente bleibt die Luft noch athembar, namentlich wenn man die Fenster öffnet, obgleich man auch dann nach kurzer Zeit die gelb-rothen Dämpfe von salpetriger Säure in der Luft schweben sehen kann. Bei 12 und mehr Elementen wird sie nach kurzer Zeit unerträglich. Eine größere Zahl Elemente sollte man gar nicht in dem Zimmer, in welchem man experimentirt, aufbauen. Man muß sich also für solche Fälle irgend einen Raum verschaffen, aus welchem die Dämpfe frei abziehen können, die Luft des Zimmers nicht beeinträchtigen, und von dem die Leitungsdrähte bequem nach dem Experi-

mentirzimmer geführt werden können Zu dem Zweck dürfte es am besten sein, vor einem Fenster ein großes und starkes Brett mit Gallerie anzubringen, wie man Blumenbretter vor den Fenstern hat, auf dem eine größere Anzahl Elemente aufgestellt werden könnte und die Drähte durch in den Fensterrahmen gebohrte Löcher ins Zimmer zu leiten; natürlich müssen diese Löcher sich nicht in dem Rahmen der Fensterflügel, sondern in dem dieselben umgebenden, unbeweglichen Rahmen, der ans Mauerwerk befestigt ist, befinden und die Fensterflügel müssen nach Innen aufgehen, damit man die Säule außerhalb bequem aufbauen und dann die Fenster schließen kann. Um die Verbindung noch leichter herzustellen, könnte man auch ein für allemal an zwei verschiedenen Stellen des festen Rahmens je ein Kupferblech durch diesen führen, die dann immer an ihren Stellen blieben; die Drähte werden durch die gewöhnlichen für solche Fälle geeigneten Klemmen in- und auswendig mit den Blechstreifen verbunden.

Nach dem Auseinandernehmen der Bunsen'schen Elemente müssen die Thonzellen und die Kohlen ganz besonders sorgfältig ausgesüßt, d. h. von der durch sie absorbirten Säure befreit werden. Dies erreicht man durch längeres Liegen in reinem Wasser, das oft abgegossen und wieder erneuert wird. Die Kohlen nehmen sehr viel Säure auf, wie man bemerken kann, wenn man die Füllung der Zellen nach dem Versuch mit derselben vorher vergleicht. Soll die Reinigung der Kohle vollkommen werden, so muß sie mehrere Tage in immer wieder erneuertem Wasser liegen.

In Betreff der Thonzellen muß man noch eine besondere Vorsicht anwenden, es kommt nämlich vor, daß ein Thongefäß vollkommen heil und unbeschädigt zu sein scheint; wenn man dann aber die Säure eingegossen hat, so bemerkt man bald, daß diese sich zusehends vermindert. Da man nun weiß, daß die Kohle, wie schon gesagt, sehr viel Säure in sich aufnimmt, so schreibt man dann häufig die Verminderung der Flüssigkeit der Absorption durch die Kohle zu. Oft trifft dies auch wirklich zu. Aber in manchen Fällen rührt ein großer Theil der Flüssigkeitsverminderung von kleinen Rissen in den Wänden der Thonzelle her, wenn zufällig die Flüssigkeit außerhalb tiefer steht als innerhalb; diese Risse sind oft so fein, daß sie nur bei ganz genauer Untersuchung erkannt werden. Um dagegen sicher zu sein, sollte man die Thongefäße von Zeit zu Zeit prüfen, indem man sie mit Wasser füllt und von einem Tag zum anderen stehen läßt. Diejenigen, aus denen Wasser ausfließt, müssen weggeworfen werden.

Das Grove'sche Element (Fig. 557) ist eben so zusammengesetzt, wie das Bunsen'sche, nur daß statt der Kohle ein Platinblech in die Salpetersäure eingesetzt wird; die Flüssigkeiten sind dieselben. Das Platinblech wird durch Schräubchen an eine Kupferplatte c befestigt und stark angedrückt, damit zwischen beiden Metallen vollständige Leitung vorhanden sei. Die Kupferplatte c wird durch einen Schlitz in dem Porzellandeckel a b gesteckt, der nach Unten einen vorstehenden Rand hat,

mit dem er in das Thongefäß eingesetzt wird. Dieser Rand bildet eine Höhlung, die mit Schwefel oder einem Harz ausgefüllt wird, um die Oxydirung des Kupfers durch die Dämpfe der Salpetersäure zu verhindern. (Fig. 558) zeigt den Porzellandeckel a b und die Kupferplatte c mit dem Platinblech d, welches in der Form eines S gebogen ist, wie m n dasselbe im Horizontaldurchschnitt zeigt. Das Zudecken der Thonzelle mit dem Porzellandeckel (wozu man auch Ebonit nehmen kann) verhindert das Verbreiten der salpetrigsauren Dämpfe in der Luft. Auf die Kupferplatte c schraubt man eine Drahtklemme e; (Fig. 559) zeigt diese in einer auf der (Fig. 558) senkrecht stehenden Ansicht. Eine eben

Fig. 557.

Fig. 558.

Fig. 559.

solche Klemme (Fig. 557) f ist an eine Verlängerung des Zinkcylinders geschraubt. Braucht man das Element einzeln, so werden die Poldrähte in den Klemmen e und f befestigt.

Beim Auseinandernehmen dieses Elementes behandelt man das Zink wie bei dem Daniell'schen und Bunsen'schen: das Platin wird nur mit Wasser abgespült, muß aber vorsichtig gehandhabt werden, damit es nicht verbogen oder gar zerrissen werde, denn die Plättchen sind sehr dünn. Am besten ist es, das Platin sofort wieder in das Thongefäß einzusetzen; wenn man wirklich dieses noch aussüßen will, so fülle man Wasser ein und setze das Platin in dieses.

Beim Daniell'schen, Bunsen'schen und Grove'schen Element bildet allemal das Zink den negativen, Kupfer, Kohle und Platin den positiven Pol; der positive Strom geht nämlich in dem Element selbst vom Zink zum anderen Erreger, im Leitungsdraht von diesem zum Zink.

Vereinigt man mehrere Elemente irgend einer Art zu einer Säule oder Batterie, so verbindet man gewöhnlich den negativen Erreger des ersten Elements mit dem positiven des zweiten, den negativen des zweiten mit dem positiven des dritten u. s. w. bis zum letzten Element, wo dann beim ersten der positive, beim letzten der negative frei bleibt; dies sind die Pole der ganzen Zusammenstellung, und zwar ist der frei gebliebene positive Erreger der negative, der frei gebliebene negative Erreger der positive Pol. In (Fig. 560) haben wir eine Grove'sche Säule von 4 Elementen, in einen Holzkasten zusammengestellt, so verbunden; p ist der positive, z der negative Pol. An jeden Erreger aller vier Elemente ist eine Klemme angebracht, zwischen diesen stellt man die Verbindung in der oben angegebenen Weise durch in die Klemmen gesteckte und festgeschraubte Kupferdrähte her.

Wir haben bisher die Elemente als einzelne hinter einander verbunden; man kann sie aber auch zu Zweien, Dreien u. m. verbinden,

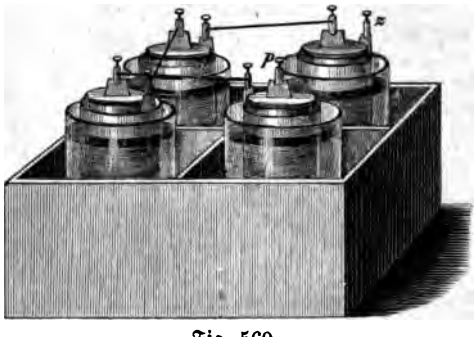


Fig. 560.

d. h. man verbindet die positiven Erreger je zweier, dreier ꝛc. Elemente, eben so die negativen Erreger derselben Elemente zu Zweien, Dreien ꝛc., dann den Verbindungsdraht der ersten positiven mit dem der zweiten negativen, den der zweiten positiven mit dem der dritten negativen u. s. w. bis zur letzten Gruppe, so bleibt der Verbindungsdraht der ersten negativen und der der letzten positiven Gruppe unverbunden; diese beiden bilden die Pole oder Elektroden. Es wird in den Lehrbüchern bewiesen, daß diejenige Combination die vortheilhafteste ist, bei welcher der wesentliche Widerstand (d. h. der Widerstand innerhalb der Kette) dem Widerstand im Schließungsdrahte gleich oder am nächsten gleich wird. Natürlich hängt der Widerstand im Schließungsdrahte von der Länge und Stärke dieses Drahtes ab.

Wenn eine Säule aus mehreren Elementen, namentlich solchen, bei denen Salpetersäure vorkommt, nicht gebraucht wird, so fragt es sich, wie soll man die Elemente aufbewahren, damit sie nicht durch die sauren Dämpfe den übrigen Apparaten schaden; denn man mag die Kohlen noch so sehr ausgelaugt haben, sie werden immer noch schädliche

Dämpfe verbreiten; mit den Thonzellen ist dies weniger der Fall, wenn sie nachhaltig ausgewaschen worden. Hat man ein abgesondertes Zimmer, wo keine metallenen Instrumente sind, so bringe man sie dahin. Ein solches wird aber nicht immer zu Gebote stehen. In diesem Fall setze man sie in einen dicht schließenden Kasten und bringe diesen hin, wo man Raum findet, so fern wie möglich von feineren Instrumenten.

Außer den genannten Rheomotoren (Stromerregern) giebt es noch mehrere andere, die indessen nicht in so allgemeinen Gebrauch gekommen sind, wie die oben beschriebenen; wir können sie daher hier füglich übergehen; aus den in den Lehrbüchern darüber gegebenen Andeutungen wird man sie leicht verstehen und zu behandeln wissen. Nur einen führen wir noch auf, weil er an Bequemlichkeit alle anderen übertrifft, da er immer gefüllt bleibt und so unschädlich ist, daß er ohne Nachtheil zu bringen, im Putzzimmer aufgestellt und gebraucht werden kann. Es ist das Chromsäureelement, das durch (Fig. 561) dargestellt ist. Auf einer Flasche mit langem, verengtem Halse wird eine messingene Fassung a angebracht, darauf ein hölzerner Deckel bb gesetzt, der, um recht fest zu sitzen, in die Fassung eingreift und einen Bajonetverschluß erhält. Der Rand des Deckels bildet nach Unten eine kreisförmige Höhlung; in diese wird die Messingplatte, welche zwei parallel gestellte Kohlen k,k trägt, eingelegt und an den Holzdeckel angeschraubt. Die Befestigung der Kohlen geschieht dadurch, daß jede Kohle zwischen zwei an die genannte Messingplatte gelöthete Platten aus demselben Metall gesetzt und an diese angeschraubt wird. Die Kohlen reichen beinahe auf den Boden der Flasche; um sie in ihrer Lage festzuhalten schraubt man an diesen Enden ein Stück hartes Holz dazwischen. Eine der Schrauben, welche zur Befestigung der Messingplatte an den Holzdeckel dienen, reicht von Unten noch über die äußere Fläche des Deckels hindurch; auf das obere Ende derselben wird eine Klemme c geschraubt, die denn als positive Elektrode den einen Leitungsdraht aufnimmt. Durch die Mitte des Deckels und der darunter sitzenden Messingplatte ist ein Loch gebohrt, durch welches ein starker Messingstab s geführt ist, der sich in ein stärkeres Messingstück schraubt; letzteres ist an die Zinkplatte z gelöthet. Auf die obere Fläche des Holzdeckels ist das Messingplättchen c aufgeschraubt, auf dieses, gerade über der Oeffnung im Deckel, eine oben geschlitzte Hülse i, darüber die weitere und kürzere Hülse h mit

Fig. 561.

Schraube, um sie an die erste i, und diese an den Stab s fest zu klemmen. Diese Einrichtung gestattet, die Zinkplatte z hoch gehoben zu halten, wie in der Figur, oder aber so tief herunter zu lassen wie die Kohlen stehen. Das Messingplättchen c steht mit der Klemme i, also auch mit der Stange s und der Zinkplatte z in leitender Verbindung; setzt man also auf das Plättchen c eine Klemme d, so wird ein in diese eingesetzter Draht die negative Elektrode bilden. Als Flüssigkeit gießt man in die Flasche 18 Gewichtstheile Wasser mit 4 Gth. concentrirter Schwefelsäure und schüttet dazu 3 Gth. saures chromsaures Kali, oder 4 Th. krystallisirte Chromsäure in 64 Th. Wasser gelöst und mit 5 Th. concentrirter Schwefelsäure versetzt; es ist dies also ein Element mit einer einzigen Flüssigkeit. Soll die Kette gebraucht werden, so läßt man die Zinkplatte herunter; soll der Strom unterbrochen werden, so zieht man sie in die Höhe und klemmt sie mit der Schraube fest. Die Flüssigkeit hält längere Zeit vor, zersetzt sich aber zuletzt und man muß sie erneuern. Es ist natürlich zweckmäßig, auch hier die Zinkplatte zu amalgamiren; zu dem Zwecke wird man die Stange s abschrauben und kann dann das Zink zwischen den Kohlen heraus nehmen, reinigen und frisch amalgamiren.

3. Wirkungen des Stroms.

Um die Wärmewirkung des Stroms zu zeigen, dient der Apparat (Fig. 562). Durch den Korkpfropfen eines Glases A mit weitem Halse wird in der Mitte ein Thermometer t gesteckt, an den Seiten desselben die starken Kupferdrähte a c, und b d; an den oberen Enden a, b werden Drahtklemmen angeschraubt, welche beim Versuche die vom Rheomotor kommenden Leitungsdrähte aufnehmen. An die Enden c, d der Drähte a c, b d befestigt man die Enden eines feinen Platindrahtes, der durch viele Windungen möglichst lang gemacht wird. Die Befestigung des Platindrahtes an die Kupferdrähte kann durch Löthung oder auch dadurch geschehen, daß man denselben mehrere mal recht fest umwickelt und festbindet. In die Flasche füllt man nun absoluten Alkohol und leitet den Strom ein, so wird das Thermometer die Temperaturerhöhung anzeigen. Es dient dasselbe Instrument dazu, die Abhängigkeit der Wärmewirkung von der Stromstärke und dem Widerstande des Leitungsdrahtes (Joule'sches Gesetz) nachzuweisen, wenn man noch die Tangentenbousole und den Rheostat damit verbindet, welche beide noch beschrieben werden sollen.

Fig. 562.

Man kann auch Wärmeerscheinungen an Drähten hervorbringen. Man befestige mit einer Klemme einen Draht an den einen Pol des Rheomotors und lege oder drücke ihn gegen den anderen Pol, so wird er sich er-

hitzen. Die Dicke und Länge des Drahts muß sich nach der Stärke des Stroms richten; ein dünner Platindraht wird schon bei einem einzigen Element so heiß, daß ein Schwefelholz sich daran entzündet. Bei stärkerem Strom kommt der Draht ins Glühen; durch sehr starke Ströme kann man Meter lange Drähte ins Glühen bringen. Die Metalle, die am wenigsten leiten, den größten Widerstand leisten, erhitzen sich am stärksten, wie Eisen und besonders Platin. Ein Goldblatt, das am einen Poldraht hängt und mit dem anderen berührt wird, verbrennt sofort und verflüchtigt sich. Besondere Apparate bedarf es zu diesen und ähnlichen Versuchen nicht.

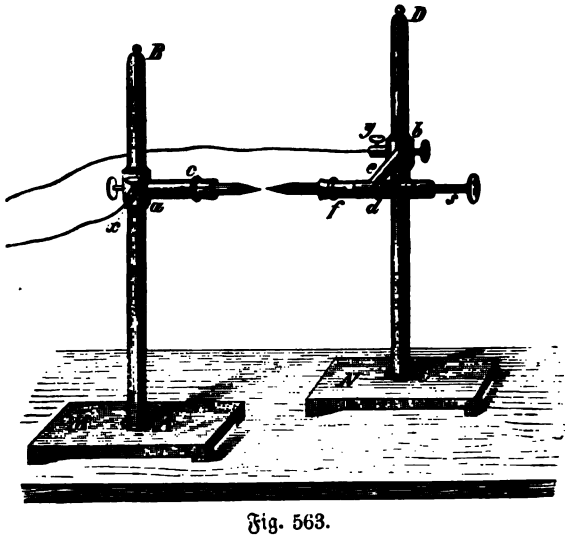


Fig. 563.

Am schönsten zeigt sich das galvanische Licht zwischen gut leitenden Kohlen. Man bedient sich dazu der Bunsen'schen Kohle oder auch der Coaks aus den Gasretorten. Die Befestigung der Kohle erfordert aber einen besonderen Apparat. Solcher Apparate sind viele in den verschiedensten Formen angegeben und ausgeführt. Die vollkommensten sind theuer und erfordern beim Gebrauche mehr Sorgfalt und Aufmerksamkeit, als man in einer Unterrichtsstunde darauf verwenden kann. Wir wollen aber einen sehr einfachen beschreiben, den sich Jeder anschaffen kann, und der, wenn man nur eine hinreichende Zahl Elemente anwendet, ein eben so glänzendes Licht geben wird, wie jeder andere.

Auf den Fußbrettern M, N (Fig. 563) stehen zwei metallene Ständer A B, C D; am ersten ist die Hülse a angebracht, die in jeder Höhe festgeschraubt werden kann, an dem damit verbundenen Arm ist ein Röhrchen c angelöthet, in welches sich ein in die gehörige Form bearbeitetes Stück

Kohle einsetzen und durch einen Ring festklemmen läßt. Der andere Ständer trägt die Hülse b, welche an der Seite das kurze Stäbchen e hat, an welches eine eben solche Vorrichtung angebracht ist, wie an der Hülse a, so daß auch hier eine Kohle eingesetzt werden kann. Nach der entgegengesetzten Seite aber steht ein Röhrchen d mit dem Raum in Verbindung, in welchem sich diese zweite Kohle befindet; in diesem Röhrchen ist eine Schraubspindel s angebracht, zu der, nach Hinten zu das Röhrchen d selbst die Mutter bildet; nach Vorn zu hat das Röhrchen keine Gänge mehr, es nimmt aber den Kohlenhalter f auf, so daß dieser sich darin mit sanfter Bewegung vor- und rückwärts schieben läß. Zu dem Zwecke ist die Spindel s in die Rückwand des Kohlenhalters der Art eingefügt, daß sie sich darin zwar drehen, aber weder vor- noch rückwärts schieben läßt. Dreht man also die Schraube s rechts herum, so geht der Kohlenhalter mit der darin eingeklemmten Kohle nach Links, nähert sich der anderen Kohle in c; und dreht man s links herum, so holt die Schraube den Kohlenhalter nach Rechts hin, entfernt die Kohle von der im Halter c. Die Kohlenspitzen können also bei feststehenden Stativen einander beliebig genähert, oder von einander entfernt werden. Da die Ständer verschiebbar, so braucht die Bewegung mittelst der Schraube immer nur eine sehr kurze zu sein. Natürlich kann man die Ständer A B, C D auch auf demselben Brett anbringen, wo dann, unter Umständen, die Sicherheit und Genauigkeit durch die größere Länge des Weges beeinträchtigt wird. Bei x und y sind Drahtklemmen an die Hülsen a und b gelöthet, durch welche den Kohlen der Strom zugeführt wird.

Beim Anfang des Versuches muß man die Kohlenspitzen einander bis zur Berührung nähern; es entsteht dann ein ganz kleines Fünkchen dazwischen, das größer wird, wenn man die Kohlen von einander um ein Geringes entfernt. Aber freilich, wenn die Zahl der Elemente nicht sehr groß ist, wird man kaum über 1 bis 2 mm hinausgehen dürfen; indessen liefert auch schon ein Strom von 20—25 Bunsen'schen Elementen ein sehr schönes, blendendes Licht. Da hier das Licht, so zu sagen, von einem Punkte ausgeht, wir aber an die Beleuchtung durch die parallelen Sonnenstrahlen gewöhnt sind, so erscheinen uns die Formen der durch ein noch so helles elektrisches Licht sehr verschieden von denen durch Tageslicht beleuchteten. Man bringt daher, wo es auf dauernde Beleuchtung ankommt, das Kohlenlicht in den Brennpunkt eines versilberten paraboloischen Spiegels, von dem die Strahlen dann parallel zurückgeworfen werden. Wollte man solchen mit unserem Apparate verbinden, so müßte man ihn mit der einen Kohle auf demselben Stative und so anbringen, daß der Brennpunkt des Spiegels genau vor die Kohlenspitzen zu liegen käme. Es verlohnt sich dies aber freilich nur bei einem Licht von einer größeren Anzahl Elemente.

Bei starken Strömen bilden die in der außerordentlichen Hitze des Kohlenlichtes verflüchtigten Kohlentheile einen schönen, gewölbten Lichtbogen, der noch größer wird, wenn man leichter zu verflüchtigende

Körper, als die Kohlen sind, auf die Kohlen streut, oder die Kohlenspitzen mit der Auflösung eines solchen Körpers befeuchtet, z. B. Auflösung von Aetzkali, oder gepulvertes Glauberſalz. Je flüchtiger die Elektroden sind, desto größer wird der Lichtbogen.

Der Strom einer starken Säule übt auch physiologische Wirkungen aus, die jedoch erst bei einer sehr großen Anzahl von Elementen bedeutend werden. Um sie zu steigern nimmt man größere Metallmassen in die Hände, befeuchtet diese auch wohl mit Salzwasser u. s. w. Die Erschütterung kann bis zur Unerträglichkeit gesteigert werden durch schnell hinter einander folgende Unterbrechungen, wie sie durch das Blitzrad (Fig. 564) bewirkt werden. Auf zwei Ständern ruht eine mit Kurbel

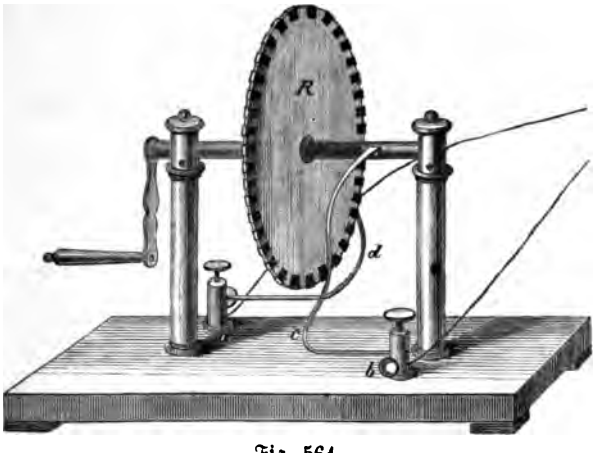


Fig. 564.

versehene Achse, darauf ist ein Kupferrad B befestigt, das am Rande ausgezackt ist; die Lücken sind mit Einsätzen von hartem Holz (Buchs oder Ebenholz) ausgefüllt. Die Achse besteht aus Messing; auf dem Fußbrett sind zwei Drahtklemmen a, b angebracht, in denen messingene Federn c, d befestigt werden; die eine, c, führt nach der Radachse und schleift auf dieser, während das Rad gedreht wird, die andere, d, führt nach dem Umfang des Rades und schleift während der Drehung abwechselnd auf den Kupferzähnen und den Holzeinsätzen. In die Klemmen a, b werden auch die vom Rheomotor kommenden Drähte eingesetzt; schaltet sich dann eine Person am einen Poldraht als Theil der Leitung ein, so empfindet sie, während das Rad gedreht wird, heftige Erschütterungen. Zu diesem Versuche brauchen die Holzeinsätze nicht über die Kupferzähne vorzuragen; um aber, da das Instrument doch Blitzrad heißt, auch gleichzeitig stärkere Funken zu erhalten, wird es zweckmäßig sein, sie etwa 0,5 mm. über die Kupferzähne vorragen zu lassen.

Da Eisendrähte, wegen ihres geringen Leitungsvermögens leicht

ins Glühen kommen, so läßt sich damit Pulver entzünden. Man mache aus etwas starkem Papier einen hohlen Cylinder a b (Fig. 565), indem man das Papier mit Kleister zusammenklebt, verschließe das eine Ende a mit einem rund geschnittenen Stück Pappe, steche mit einer Nadel ein Loch in die Mitte dieses Pappstücks, stecke dann einen ganz dünnen Eisendraht c d hindurch, der etwa 3 cm. länger ist als der Cylinder, wickle ihn bei c mehreremal fest um den einen Poldraht z des Rheomotors, so daß hier gute Leitung stattfindet, fülle nun den Hohlcylinder mit Pulver, klebe über das andere Ende b ebenfalls eine Pappscheibe, durch die der Eisendraht durchgezogen worden, und wickle dieses Ende bei d um den anderen Poldraht k. Läßt man nun die Vorrichtung, des Trocknens wegen, bis zum nächsten Tag liegen, bringt dann die Drähte an die Pole einer Säule von 2 bis 3 Bunsen'schen Elementen an und schließt die Kette, so wird der Eisendraht c d bald glühen, das Pulver entzünden und die Patrone mit einem heftigen Knall zersprengen. Es ist zweckmäßig, die Leitungsdrähte hiebei etwas lang zu nehmen, 2—3 m dürften jedoch ausreichen.

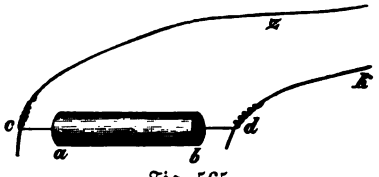


Fig. 565.

Die chemischen Wirkungen des Stroms bieten ein weites Feld, zu denen sehr viele verschiedene Apparate verwendet werden. Wir müssen uns auf das Nächstliegende beschränken.

Bei der Wasserzersetzung kann man die Gase entweder gemischt oder getrennt auffangen. Der Apparat (Fig. 566) kann zu beiden Versuchen benutzt werden. Die Zeichnung stellt ihn für getrenntes Auffangen der Gase dar; wir werden sehen, daß eine ganz geringe Aenderung auch die gemischte Ansammlung gestattet. A B ist ein Fußbrett auf dem der metallene Ständer C D aufgestellt und durch eine Mutter von Unten befestigt ist. Mittelst der Hülsen E und F sind die Arme E G und F H in jeder Höhe am Ständer festzuschrauben. Der Arm E G trägt eine größere Metallhülse J, in welche das trichterförmige Gefäß K eingekittet ist. Von Unten ist das Gefäß durch einen dichten Kork verschlossen; durch den Kork sind zwei mit Siegellack überzogene Kupferdrähte p, q gesteckt, die an ihren oberen Enden je ein daran gelöthetes Platinblech tragen; unterhalb des Korks werden die Drähte umgebogen und an den Enden m, n mit Drahtklemmen versehen, in welche die zum Rheomotor führenden Drähte eingeschraubt werden. Der obere Arm F H hat ein Querstäbchen u v, dessen Enden zu Haken umgebogen sind. L und M sind zwei Glasröhren, deren obere Enden

mit Fassungen verschlossen sind, welche mit Häkchen oder Ringen versehen werden, um die Röhren an den Haken u und v aufzuhängen. Man gießt dann Wasser in das Gefäß K, säuert es mit einigen Tropfen Säure an und füllt die beiden Röhrchen M und L ebenfalls mit sauer gemachtem Wasser. Man nimmt die Röhrchen zu diesem Zwecke von den Haken ab, füllt sie mit dem (sauren) Wasser, deckt sie mit dem Finger über, taucht die Oeffnung so unter das Wasser im Gefäß K, daß in jedes ein Platinblatt hineinragt, und hängt sie so wieder auf, daß die Oeffnungen sich unter Wasser befinden, wo sie

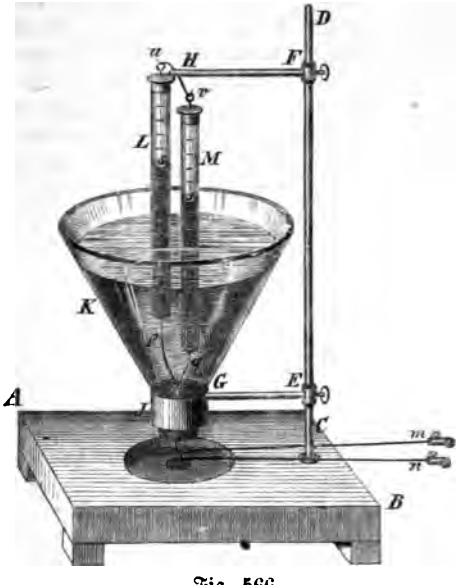


Fig. 566.

dann nach dem Torricelli'schen Gesetze gefüllt bleiben. Schließt man dann den Strom, so geht die Gasentwickelung in beiden Röhren sofort vor sich. Man muß aber wenigstens zwei Bunsen'sche Elemente anwenden. Um größere Gasmengen zu erhalten, muß man mehr Elemente anwenden.

Es ist zweckmäßig, die Glasröhrchen zu calibriren, und zwar in Theile zu theilen, von denen jeder genau 1 c. cm. Inhalt hat. Nun wird zweimal so viel Wasserstoff gebildet als Sauerstoff; will man also beide Röhrchen voll von Gas bekommen, so muß das eine, in welchem sich der Wasserstoff entwickeln soll, weiter sein als das andere; sollen dann auch noch die Höhen der Theile gleich werden, so muß der Durchmesser des größeren Röhrchens $\sqrt{2}$ Mal so groß sein, als der des kleineren.

Sollen die Gase gemischt aufgefangen werden, um gleich Knallgas zu haben, so nehme man eine etwas weitere Röhre, biege die Drähte etwas zusammen, jedoch ohne daß die Platinplatten sich berühren und stecke beide Platten in eine Röhre, die in derselben Weise an demselben Stativ aufgehängt werden kann.

Will man die getrennt aufgefangenen Gase benutzen, um die nächstliegenden Eigenschaften zu zeigen, so muß man sie möglichst voll Gas werden lassen; dann verschließe man sie mit dem Finger, nehme sie vom Stativ ab und kehre sie um; in die Röhre mit dem Sauerstoff stecke man einen glimmenden Span, so wird er sich hell entzünden und, wenn nur genug Gas vorhanden ist, mit blendendem Lichte brennen; entzündet man den Wasserstoff mit einem brennenden Körper, so verpufft er.

Um Versuche mit den gemischten Gasen, dem Knallgas, anzustellen, eignet sich ein anderer Apparat noch besser, den man jedoch aus unserem bisher gebrauchten leicht herstellen kann. Wenn der Trichter K (Fig. 566) mit angesäuertem Wasser fast gefüllt ist, und die Glasröhren L, M entfernt worden sind, stülpe man über die Platinblättchen einen umgekehrten Trichter, so daß die Röhre nach Oben zu stehen kommt, und streife über das Ende der Röhre einen dünnen Gummischlauch. Um dem Trichter Haltung zu geben, setze man auf den Trichter K einen hölzernen Deckel mit Rand, so daß er sich auf den Trichter K nur aufklemmen läßt, bohre in die Mitte ein Loch, um die Röhre des umgestülpten Deckels durchzulassen. Damit der Deckel nicht luftdicht schließe, bohre man noch an irgend einer Stelle ein enges Loch in denselben. An das freie Ende des Schlauches befestige man ein Glasröhrchen, das in eine feine, höchstens 2 mm weite Spitze ausläuft. Wenn nun die Kette geschlossen wird, so entwickeln sich die Gase und treiben nach und nach die Luft aus dem übergestülpten Trichter hinaus. Man bereite dann in einer flachen Schale etwas Seifwasser und bringe die Oeffnung des an den Schlauch gebrachten Röhrchens unter dieses Wasser, so werden sich viele kleine Gasblasen bilden, die meist zusammenhangen; dann entferne man das Rohr weit vom Gefäße und zünde ein solches Blasenhäufchen an, so werden sich die Gase mit einem starken Knall wieder zu Wasser verbinden, das indeß als Dampf in die Luft geht, weil die durch das Verbrennen des Wasserstoffs entstehende Hitze so groß ist. Man bringe ja nicht Feuer an die Seifenblasen, ehe das Röhrchen und der Schlauch aus dem Bereich der erfolgenden Explosion gebracht sind, weil die Explosion sich in den Schlauch und zum Gasentwickelungsapparat fortpflanzen könnte, wo dann dieser zertrümmert würde und durch die fortgeschleuderten Scherben außerdem noch Schaden anrichten könnte.

Für die Elektrolyse der Salze wird am einfachsten der in (Fig. 567) dargestellte Apparat gebraucht. Er besteht aus einer gekrümmten Röhre a b c, welche in dem aus der Zeichnung ersichtlichen Gestell seine Haltung findet. Man gießt die gesättigte Auflösung des Salzes in die Röhre und führt die mit Platinblechen versehenen Poldrähte von beiden Seiten

in die Flüssigkeit. Man sollte nur Platinelektroden anwenden, weil andere Metalle, wenigstens an der Anode, oxydirt werden. Zu dem Zwecke löthet man die Platinplättchen an Platindrähte, und verbindet diese durch geeignete Klemmen mit den zu den Polen führenden Kupferdrähten.

Setzt man so dem Strom eine Lösung von Glauberſalz (schwefelsaurem Natron) aus, so zersetzt sich das Salz in Natron und Schwefelsäure; ersteres sammelt sich an der Anode, letztere an der Kathode an. Diese Vertheilung der Basis und Säure läßt sich sehr leicht zeigen, wenn man der Salzlösung ein sogenanntes Reagens beimischt, auf welches Basis und Säure verschiedene Wirkung ausüben. Ein solches liefert eine Abkochung der dunkelfarbigen Georginenblätter, oder Veilchenblätter, Blätter von Rothkohl u. s. w. in destillirtem Wasser, die man noch filtrirt. Um diese Flüssigkeit längere Zeit unverändert zu erhalten, setzt man ihr ein Wenig Soda zu. Wenn dann der Strom durch die

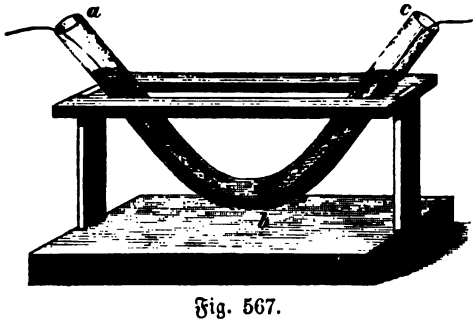


Fig. 567.

Flüssigkeit geleitet wird, färbt sich das Reagens an der Anode roth, an der Kathode grün. An der Kathode kann man ohne Nachtheil Kupferdraht oder Blech benutzen, weil die Basen das Metall nicht angreifen.

Leitet man den Strom durch Kupfervitriollösung (schwefelsaures Kupferoxyd, so setzt sich an der Kathode metallisches Kupfer ab; es hat sich die Basis des Salzes ebenfalls noch zersetzt und ihr Sauerstoff ist zur Anode gegangen. Wechselt man dann die Pole, so daß, was bisher Kathode war, Anode wird und umgekehrt, so löst sich das niedergeschlagene Kupfer wieder auf, während an der jetzigen Kathode sich wieder Kupfer niederschlägt. Vom Platinblech, das als Kathode gedient hat, entfernt man das Kupfer durch Auflösen in Salpeterſäure.

Interessant ist die Zersetzung der Alkalien. Das von Seebeck u. a. 1808 angegebene Verfahren besteht in Folgendem. Man legt ein Stück kaustisches Kali auf ein Platinblech, das man auf eine Glasplatte legen kann, schneidet in demselben eine kleine Vertiefung aus, befeuchtet sie und füllt sie mit Quecksilber. Nun verbindet man das Platinblech mit dem positiven Pol einer starken Bunsen'schen Kette (10 bis 15 Elemente), das Quecksilber in der Vertiefung des Kalis mit dem negativen, so ent-

wickelt sich am Platinblech der Sauerstoff des Kalis, während das Kalium sich mit dem Quecksilber zu einem Amalgam verbindet. Man füllt dieses in eine gebogene Glasröhre, taucht die Oeffnung der Röhre unter Steinöl und destillirt das Quecksilber ab, wo dann das metallische Kalium in der Röhre zurückbleibt. — Man stellt diesen Versuch auch wohl in der Weise an, daß man eine Kalilösung dabei benutzt, wo dann der Apparat wie (Fig. 568) aussieht. A B ist ein Glas- oder Porzellangefäß, in das man eine Schicht Quecksilber gießt, die bis a b reicht, auf das Quecksilber gießt man die Kalilösung auf, bis c d; in das Quecksilber taucht man nun einen Platindraht z, der als Kathode dient; in die Kalilösung führt man einen anderen, als Anode dienenden Platindraht, an den noch ein Platinblech o angelöthet ist; es bildet sich ebenso, wie oben gesagt, das Amalgam, das man durch Destillation in metallisches Kalium verwandeln kann. Die Platindrähte werden bei diesem Versuche zum Theil mit Siegellack überzogen, k bis da, wo er ans Blech angelöthet, z bis zur Stelle, wo er ins Quecksilber taucht.

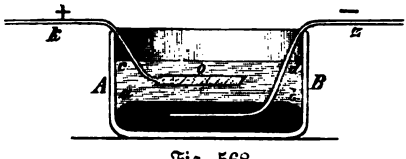


Fig. 568.

In derselben Weise würde man die übrigen Alkalien und die alkalischen Erden behandeln.

Auf die übrigen, unzähligen, die Elektrolyse betreffenden Gegenstände können wir hier nicht weiter eingehen, da sie nicht auf neue Apparate führen, die einer umständlichen Beschreibung bedürften; die Lehrbücher geben vollkommen ausreichende Belehrung darüber.

XVI. Elektromagnetismus.

1. Ablenkung der Magnetnadel durch den Strom.

Um den ursprünglichen Oersted'schen Versuch mit allen Abänderungen zu zeigen, dient der Apparat (Fig. 569). Auf einem Brett ist ein starker, 1 cm. breiter Kupferstreifen A B C D E aufgestellt und durch die Schrauben der Drahtklemmen bei A und E auf demselben befestigt; die Theile B C und D E sind horizontal, die anderen vertical gerichtet. Bei G ist ein Stahlstift in den Kupferstreifen geschraubt, bei F ebenfalls, bei H dagegen ein zweimal rechtwinklig gebogener Kupferdraht, der bei J eine verticale Stahlspitze trägt. Bei F, G und J werden mit Hütchen versehene Magnetnadeln aufgesetzt. Nun wende man das ganze Instrument so, daß die horizontalen Schenkel B C und D E in den magnetischen Meridian zu stehen kommen, so werden alle Magnetnadeln,

da sie, ohne fremden Einfluß, wenn wenigstens in der Horizontalebene sie freie Beweglichkeit haben, sich von selbst immer in den Meridian stellen, mit den Theilen B C und D E des Kupferstreifens parallel sein. Schraubt man nun die Poldrähte eines Elements, wozu ein Daniell'sches ausreicht, in den Klemmen x, y fest, so weichen sofort alle Magnetnadeln ab, gehen aus dem magnetischen Meridian heraus, und die Richtung, nach welcher die Ablenkung geschieht, hängt von der Richtung des Stromes ab; sie geschieht nach der Ampère'schen Regel, die wir hier als bekannt voraussetzen. Nehmen wir an, der positive Strom trete bei der Klemme x in den Apparat, so geht er von da nach A B C D y und zum negativen Pol des Elementes; er geht dabei unter der Nadel G, aber über der Nadel J, endlich wieder unter der Nadel F fort. Um die Ablenkungen deutlich mit Worten zu bezeichnen, wird es am dienlichsten sein, die Himmelsgegenden dazu zu benutzen und

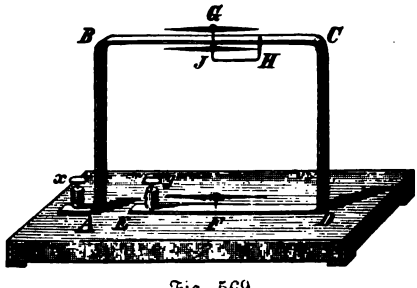


Fig. 569.

also eine bestimmte Lage des Apparates im Meridian anzunehmen. Es sei also der Theil desselben, wo der Strom eintritt, also die Klemme x, oder der Theil A B des Leiters z. B. nach Norden gekehrt, so daß also der Strom in B C die Richtung N.—S. hat, so hat der in der Ampèreschen Regel angenommene Beobachter für den Stromtheil B C die Füße nach N., den Kopf nach S. gerichtet; soll er die Nadel G ansehen, so liegt er auf dem Rücken, links liegt ihm W., rechts O.; der (jetzt nach B gerichtete) Nordpol der Nadel wird also nach W. abgelenkt. Für die Nadel J muß der Beobachter das Gesicht nach Unten kehren, hat also links O., rechts W.; die Nadel J wird ihren Nordpol nach O. hin wenden. Von D bis E hat der Strom die Richtung S.—N.; die Füße des Beobachters sind nach S. gerichtet, um nun die Nadel F zu beobachten, muß er auf dem Rücken liegen; ihm liegt also links O. rechts W. und der Nordpol der Nadel wird nach links abgelenkt.

Wir haben noch die Ablenkungen in den verticalen Stromtheilen A B und C D zu betrachten. In A B geht der Strom aufwärts, in C D abwärts; im ersteren muß der Beobachter auf den Füßen, im letzteren auf dem Kopfe stehend gedacht werden, beidemal mit dem Gesichte

nach dem Nordende der Nadel hin gewendet. Man wird nun, da auch hier die Ablenkung des Nordendes, nach der Ampère'schen Regel, nach Links hin stattfindet, bald einsehen, daß, je nachdem die Nadel auf der einen oder anderen Seite des Stromes hängt, das Nordende sich vom Strome entfernt, oder sich demselben nähert, also scheinbar bald vom Strome abgestoßen, bald angezogen wird. In der Wirklichkeit ist es aber nur ein Streben der Nadel, hier in der Horizontalebene, um den Strom zu kreisen. Natürlich müssen die Versuche an den verticalen Stromtheilen mit einer Nadel, die an einem ungedrehten Faden hängt, gemacht werden. Wenn man beim horizontalen Stromtheil BC die Nadel, ebenfalls am Faden hängend, seitwärts vom Kupferstreifen hält, so muß der Beobachter sich auf der Seite liegend denken, auf der rechten, wenn, bei der angenommenen Stromrichtung, die Nadel im O., auf der linken Seite, wenn die Nadel im W. des Stroms gehalten wird; östlich vom Strom wird also das Nordende steigen, westlich nach Unten gerichtet sein; die Nadel strebt also auch hier, um den Stromleiter zu kreisen, aber natürlich in der Verticalebene.

Bei diesen Versuchen können zweierlei Umkehrungen eintreten; erstens in der Richtung des Stroms; er kann von N. nach S., von S. nach N. gehen; zweitens in der Lage des Stromleiters zur Magnetnadel: er kann über oder unter der Nadel liegen. Die eine oder andere Umkehrung allein bringt eine entgegengesetzte Ablenkung hervor, kehrt man beides um, Stromrichtung und Lage des Leiters zur Nadel, so tritt wieder die ursprüngliche Ablenkung ein.

Eine etwas andere Anschauung ist vielleicht für Manche bequemer, um die Ablenkungen der Nadel in jedem einzelnen Falle zu bestimmen. Man stelle sich so in die Richtung des Stroms daß das Gesicht nach der Seite, wo der Strom hingeht, gewendet ist, so strebt die Nadel den Strom in der Richtung wie ein Uhrzeiger zu umkreisen. Geht also der Strom von N. nach S., so stelle sich der Beobachter auf der Nordseite mit dem Gesicht nach Süden gerichtet; weil nun die Nadel über dem Strom nach W., unter demselben nach O. abgelenkt wird, so gehen die Ablenkungen, für die so beibehaltene Stellung des Beobachters, allemal von Rechts nach Links, d. h. in der Richtung des Uhrzeigers. Ganz besonders förderlich ist diese Anschauungsweise für verticale Ströme, mögen es auf- oder absteigende sein.

2. Elektromagnetische Meßapparate.

Das Galvanometer. Auf diesen Ablenkungen der Nadel durch den Strom beruht das Galvanometer oder der Multiplicator, dessen wir bei den Instrumenten über die Wärme schon gedacht haben, der aber hier etwas genauer beschrieben werden soll. (Fig. 570) stellt ein einfaches Galvanometer vor. Auf dem Fußbrett AB ist der hölzerne Doppelrahmen abc mittelst eines in das Brett versenkten Zapfens fest aufgestellt. Die Einrichtung dieses Rahmens ist aus (Fig. 571) zu sehen. Die Scheidewand in der Mitte ist noch eingeschnitten, um die untere

Nadel des astatischen Nadelpaars in den horizontalen Zwischenraum hinunter zu lassen. Man sieht von der unteren Nadel das eine Ende s, während die obere n s über der getheilten Kreisscheibe aus Cartonpapier am einfachen Coconfaden m p schwebt. Der Rahmen d e ist mit dem konischen, durchbohrten Zapfen f in die ausgeschliffene Oeffnung

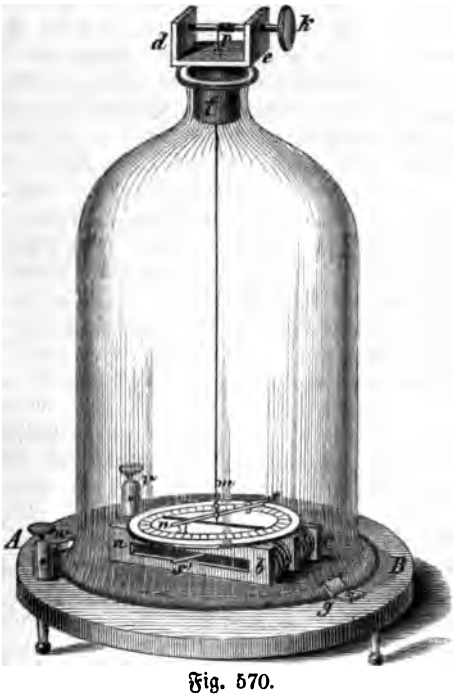


Fig. 570.

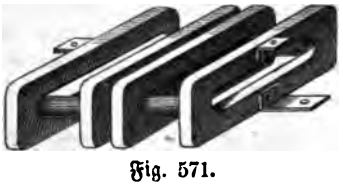


Fig. 571.

einer Glasglocke gesetzt, der Coconfaden auf eine horizontale Drehachse gewunden, die beim Knopfe k rechts oder links gedreht wird, je nachdem man die Doppelnadel heben oder tiefer hinablassen will. Auf den Rahmen a b c ist mit Seide umsponnener Kupferdraht gewickelt, erst in die eine Abtheilung, dann nach derselben Richtung hin in die andere, so daß die ganze Umwickelung aus einer einzigen Drahtlänge besteht.

Das eine Drahtende ist durch einen Draht, der an der Unterfläche des Fußbrettes fortläuft, mit der Klemme v, das andere ebenso mit der Klemme w verbunden; an beide Klemmen können auch die Leitungsdrähte von der Stromquelle mittelst der sichtbaren Schräubchen angeklemmt werden. Auf der getheilten Scheibe sieht man durch einen schwarzen Strich einen Einschnitt angedeutet, durch welchen die untere Nadel in den Rahmen hinabgelassen wird. Auf der Scheibe sind noch zwei Knöpfchen angebracht, gegen welche die obere Nadel anschlägt, wenn sie durch einen etwas stärkeren Strom abgelenkt wird; sie würde sonst beim ersten Anstoß mehreremal im Kreise herum schwingen und sehr lange nicht wieder zur Ruhe kommen. Die Glasglocke hat unten einen vorstehenden Rand und wird durch drei Klemmen, wovon eine bei g und eine hinter der Drahtklemme w sichtbar sind, auf dem Fußbrett A B festgehalten. Die Glocke ist auf dem Fußbrett in einen Falz eingelassen. Das Instrument ist hier auf einfachen Füßen stehend gezeichnet; um es richtig zu stellen, muß man es auf die Richtplatte (S. 113) stellen und ihm mittelst der Fußschrauben derselben die richtige Stellung geben. Diese ist erreicht, wenn der Faden m p frei durch den Spalt in der Theilscheibe hängt, auf keiner Seite an den Rand anliegt und den Mittelpunkt der Scheibe trifft. Wenn das Galvanometer nicht gebraucht wird, läßt man die Nadeln so tief herunter, daß die obere auf der Theilscheibe aufliegt. Man kann zwar auch diesem einfachen Galvanometer Fußschrauben geben; ich halte es aber doch für besser, dasselbe stets auf die mittelst der Libelle horizontal gestellte Richtplatte zu setzen: denn hat man es auf dem bloßen Tisch eingestellt, und es liegt irgend ein Bedürfniß vor, es etwas zu drehen, so muß es auch wieder gerichtet werden.

Das eben beschriebene Galvanometer ist für einfache, elementare Versuche recht brauchbar, ist aber für feinere, lange andauernde Versuche doch nicht so zweckmäßig, als man es sich wünschen möchte. Wir wollen daher nach Anleitung der (Fig. 572) noch ein anderes beschreiben. Der auf dem Fußbrett A B ruhende Rahmen a b c d, in welchen die Drahtwindungen eingelegt sind, ist an dem Exemplar, wonach die Zeichnung gemacht, von lackirtem Blech; die Zwischenwand x y ist doppelt, um die eine Nadel herunter zu lassen. An den Rahmen ist auf jeder Längsseite ein Plättchen f befestigt, womit derselbe auf eine messingene Trägerplatte geschraubt wird. An diese Platte ist ein konisches Rad angelöthet, von dem in der Figur einige Zähne über dem im Vordergrund stehenden Schraubenkopf S sichtbar sind. In dieses Rad greift ein senkrecht stehendes, ebenfalls konisches Rad ein, welches am Knopfe g mit der an diesem befindlichen horizontalen Achse gedreht wird; an beiden Rädern stehen die Zähne unter 45° gegen die Radebene geneigt. Dreht man den Knopf g, so dreht sich der Drahtrahmen in gleichem Sinne. An die erwähnte messingene Unterplatte des Rahmens ist die 8 mm. dicke, messingene Centralachse des Instruments gelöthet, welche durch einen in die hölzerne Fußplatte A B eingeschraubten Hohlcylinder geführt und unten durch eine Druckschraube o darin festgehalten wird.

(Fig. 573) stellt die Achse im Durchschnitt vor, F G ist diese Achse. Auf dieselbe sind noch zwei, durch ein Elfenbeinplättchen x x getrennte, also gegen einander isolirte Ringe p und q von Messing aufgesetzt,

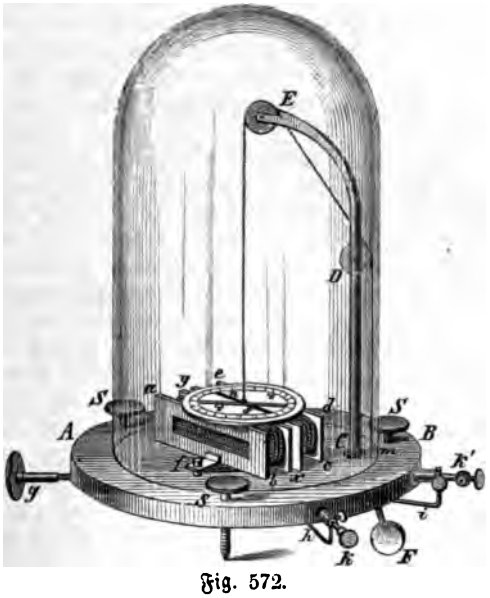


Fig. 572.

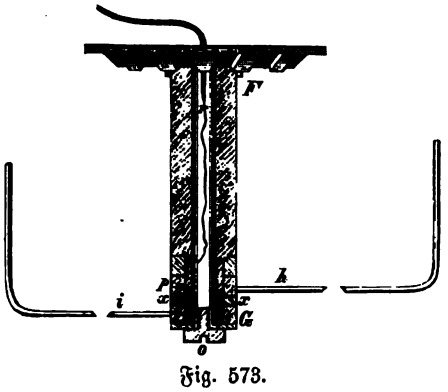


Fig. 573.

mit denen die Enden der Drahtrolle in Verbindung gebracht werden. Damit aber der Strom wirklich seinen Kreislauf machen könne und nicht schon hier der positive und negative Strom zusammenlaufen, müssen diese Ringe gegen einander völlig isolirt werden; der obere Ring p sitzt zu diesem Zwecke unmittelbar auf der Achse F G. Diese hat aber noch

einen inneren dünneren Theil r, der von Oben nach Unten die Achse durchsetzt, gegen diese aber durch einen dünnen Cylinder von Ebonit (Hartgummi) isolirt ist. Dieser steht vor dem oberen vor, ist länger als der obere, und nimmt einen Ebonitring auf, mit dem er denn die gleiche Dicke, wie der obere erreicht; auf den Ebonitring ist der zweite Messingring q aufgesetzt. Die Ebonithülle der inneren Röhre ist in der Durchschnittszeichnung durch zwei schwarze Striche angegeben, der kurze Ebonitring durch die dickeren Striche zwischen den Buchstaben q und G.

Das eine Ende der Drahtwindungen ist nun an die untere Fläche der Trägerplatte gelöthet, steht also mittelbar in leitender Verbindung mit dem äußeren Theil der Centralachse und mit dem Ring p; das andere Drahtende dagegen wird oben an den innersten Achsentheil r angelöthet, der durch die Ebonithülle vom äußeren getrennt ist. Damit nun der Strom von diesem Achsentheil zum untersten Ring q gelangen könne, ist auf das unterste Ende der inneren Achse ein Messingplättchen aufgesetzt; dieses ist so mit diesem Achsentheil r in Contact gebracht und berührt auch den untersten Ring q, gegen den es mittelst der schon oben erwähnten Druckschraube o fest angedrückt wird.

Von den beiden Ringen p, q gehen die starken Kupferdrähte h, i (Fig. 572) zu den Drahtklemmen k, k', wo sie festgeschraubt werden; dieselben Klemmen nehmen die Enden der vom Rheomotor kommenden Drähte auf.

Auf die Fußplatte AB ist der messingene Ständer CDE aufgesetzt; bei D und E trägt er kleine Messingrollen mit Schnurlauf. Der Ständer geht durch die Fußplatte durch und wird von Unten durch eine breite Mutter befestigt. Die Doppelnadel wird durch einen einfachen Coconfaden getragen, der über das Röllchen E weggeht, dann über das in einem Schlitz des Ständers steckende Röllchen D, endlich bei m durch eine Bohrung im Fußbrett; hier ist der Faden an ein Röllchen befestigt auf dem er mittelst der am Knopfe F festsitzenden Achse auf- und abgewunden werden kann. Auf den Rahmen abedc wird eine runde Messingplatte geschraubt, auf diese ein Kreis von Cartonpapier geklebt, oder auch blos durch zwei kleine Elfenbeinschräubchen befestigt, deren Knöpfe zugleich die Hemmung für die Nadel bilden, wie bei dem einfacheren Galvanometer. Die papierne Scheibe erhält eine Kreistheilung. Das Fußbrett erhält drei Stellschrauben S, S, S; über das Ganze wird eine Glasglocke gesetzt, die in einen Falz des Fußbrettes eingelassen ist.

Die Tangentenbousſole. Das Galvanometer ist wohl geeignet, schwache Ströme zur Wahrnehmung zu bringen; da aber die Stromstärke im Allgemeinen nicht den Ablenkungen der Nadel proportional sind, so kann man nicht wohl ein vergleichendes Maß für die Stromstärke dadurch gewinnen. Dazu dient nun die Tangentenbousſole. Auf einem dreifüßigen Gestell mit Stellschrauben ist der Kupferring RR' (Fig. 574) aufgestellt; derselbe besteht aus einem Streifen von 3—4 cm. Breite, 2 mm. Dicke, der Ring hat einen Durchmesser von

3 dm.; die Enden c, d des Streifens sind isolirt durch den Körper des Stativs gesteckt und mit Drahtklemmen versehen. Der halbkreisförmige Holzeinsatz aeb trägt das Querstück ab, ebenfalls von Holz. In der Mitte ist ein quadratisches Brett mnop auf ab aufgeschraubt; darauf ist die Boussole qr angebracht, aus einer kreisförmigen Messingdose bestehend, die durch eine Glasscheibe zugedeckt ist. Auf dem Boden ist

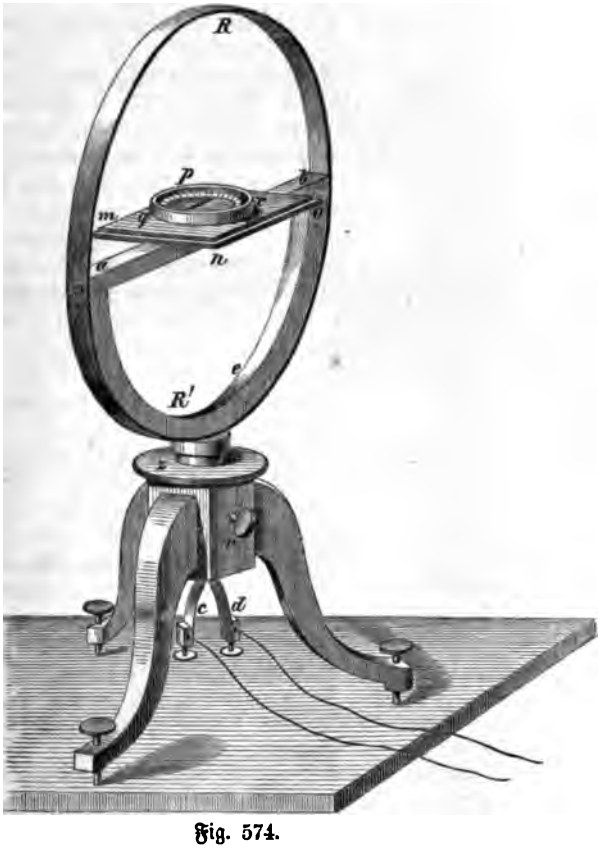


Fig. 574.

eine Gradtheilung angebracht, im Mittelpunkt eine Stahlspitze, auf der die Magnetnadel schwingt. Der hölzerne Zapfen z, durch welchen die Schienenenden c, d, ebenfalls durch einen Holzeinsatz von einander getrennt, durchgeführt sind, ist in der cylindrischen Bohrung des Stativs drehbar; mit dem Zapfen dreht sich der Ring RR'; durch eine seitliche Schraube v kann derselbe in jeder Lage festgestellt werden.

Wie die Lehrbücher nachweisen, ist bei der Tangentenboussole die

Stromstärke der Tangente des Ablenkungswinkels proportional; das Instrument dient also dazu, die Stromstärke nach diesem Gesetz zu messen. Damit aber dieses Gesetz gültig bleibe, darf die Nadel im Verhältniß zum Durchmesser des Ringes RR' nur kurz sein; denn ist dies nicht der Fall, ist vielmehr die Nadel gegen den Ringdurchmesser lang, so werden ihre Enden (die Pole) um so mehr aus dem durch den Ring laufenden Stromkreis sich entfernen, je größer die Ablenkung wird; der Strom kann dann nicht mehr die volle Wirkung auf die Nadel ausüben, die Ablenkungen werden kleiner ausfallen, als sie nach der vorhandenen Stromstärke sein müßten und die Rechnung nach dem Gesetz der Tangenten wird eine geringere Stromstärke ergeben als wirklich Statt hat. Eine kurze Nadel kann aber auch nur die Grade der Ablenkung auf einer Theilung von kurzem Durchmesser angeben, wodurch die Genauigkeit der Kreistheilung der Bouſſole, somit der Ablesung sehr eingeschränkt wird.

Diesem Uebelstand zu begegnen hat man verschiedene Mittel angewendet. Das einfachste ist, der Bouſſole einen so großen Kreis zu geben, daß eine genaue Theilung aufgetragen werden kann, die Nadel kurz zu nehmen, aber an jedem Ende derselben feine schwarze Glas-

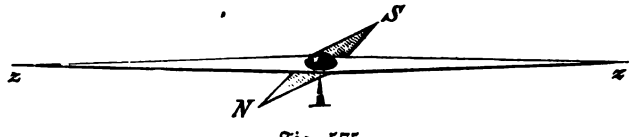


Fig. 575.

fäden aufzukitten, welche bis zur Theilung hin reichen. Oder aber, man setzt über die kurze Nadel NS (Fig. 575), rechtwinklig zu derselben, einen langen Zeiger zz aus einem nicht magnetischen Metall, der sich mit der Nadel zugleich dreht. In der Figur machen sie schiefe Winkel, weil es eine perspectivische Darstellung ist. Steht die Nadel vor der Einwirkung des Stromes im magnetischen Meridian, so wird der Zeiger 90^0 davon abweichen; soviel der Zeiger dann, wenn der Strom geschlossen wird, von 90^0 abweicht, so viel beträgt die Ablenkung der Nadel aus dem Meridian.

Eine andere Verbesserung der Tangentenbouſſole besteht darin, daß man die Nadel, statt auf einer Stahlspitze schwingen zu lassen, wie bei der Coulomb'schen Drehwage, an einem Coconfaden aufhängt; um dann Schwankungen, durch Luftströme veranlaßt, zu vermeiden, muß man auf die gläserne Deckplatte der Bouſſole eine Glasröhre aufrichten, in welcher der Faden hängt und, wie dort, durch einen oben angebrachten Wirbel in die richtige Höhe innerhalb der Bouſſolendose gebracht werden kann. Der Faden kann natürlich nur nahezu die halbe Länge des Kreisdurchmessers bekommen.

Um nun mit der Bouſſole ein vergleichbares Maß der Stromstärke zu erhalten, richte man das Stativ mittelst der Fußschrauben so,

daß die Nadel parallel mit der Theilscheibe steht: da die Nadel immer horizontal hängt, so wird dann auch die Ebene der Theilung horizontal sein: bei der Aufhängung mittelst der Spitze ist die Einrichtung getroffen, daß die Nadel genau in der Ebene des Kreisringes schwingt, welcher die Theilung trägt. Beim Justiren mittelst der Fußschrauben hat man also ein Merkmal der horizontalen Stellung des Instrumentes daran, daß beide Nadelspitzen in die Ebene des getheilten Ringes fallen. Bei der Aufhängung am Faden gilt dieselbe Rücksicht, nur hat man es hier leichter und die Justirung wird sicherer, weil auf der Spitze die Nadel möglicher Weise wegen der Reibung, einmal etwas schief hängen kann.

Wenn das Instrument so richtig gestellt ist, löse man die Schraube v, drehe den oberen Theil mit dem Ring so, daß letzterer in den magnetischen Meridian zu stehen kommt, was man daran erkennt, daß die Nadel auf 0^0 und 180^0 zeigt. Jetzt erst schließe man den zu messenden Strom und beobachte die Stellung der Nadel. Sie wird nach der einen oder andern Seite abgelenkt werden und in immer kleiner werdenden Schwingungen endlich bei einer bestimmten Ablenkung zur Ruhe kommen. Wenn die Nadel auf der Spitze hängt, kommt sie meist plötzlich zur Ruhe, dagegen sie am Faden erst viele Schwingungen macht; bei jener Einrichtung ist daher die bleibende Ablenkung nicht so sicher wie bei dieser. Diese bleibende Ablenkung liest man von der Theilung ab. Von dem so gefundenen Ablenkungsbogen bestimme man die trigonometrische Tangente und multiplicire sie mit dem sogenannten Reductionsfactor der Bousole, d. h. mit der Zahl, welche ausdrückt, wie viel Cubikcentimeter Knallgas ein Strom in 1 Minute im Voltameter entwickelt, der an der vorhandenen Bousole eine Ablenkung von 45^0 hervorbringt. (Weiteres über den Reductionsfactor s. m. Lehrbuch S. 451.)

Der Rheostat dient dazu, die Leitungswiderstände verschiedener Combinationen der Rheomotoren zu vergleichen und ist zur experimentellen Bestätigung der Ohm'schen Gesetze ein unentbehrliches Instrument. Derselbe wird jetzt gewöhnlich in der von Wheatstone 1843 angegebenen Form ausgeführt. AB (Fig. 576) ist eine Walze von Serpentin, auf deren Oberfläche Schraubengänge von $1^{mm.}$ Ganghöhe eingedreht sind; die metallene Achse der Walze ruht in den Ständern C, D und läßt sich mittelst der Kurbel E mitsammt der Walze herumdrehen. Die Achse geht aber nicht durch die ganze Walze hindurch, besteht vielmehr nur aus zwei kurzen, im Körper der Walze befestigten Zapfen. Um die beiden Endflächen der Walze sind messingene Ringe oder Fassungen a, b gelegt; der Ring a ist in 100 gleiche Theile getheilt; der Ständer C trägt oben ein Plättchen, auf welchem der Index für die Theilung angebracht ist. In die ausgedrehten Schraubengänge der Walze ist ein Neusilberdraht von weniger als $1^{mm.}$ Dicke eingelegt; auf der linken Seite (beim Ständer C) ist das Ende des Drahtes einfach in der steinernen Walze befestigt; das andere Ende

aber ist an das Achsenstück auf der Seite des Ständers D angelöthet, so daß hier eine leitende Verbindung zwischen dem Drahte und der auf dem Fuß des Ständers D feststehenden Klemme c statt findet; der Serpentinstein der Walze ist ein Isolator. Auf das Fußbrett der Walze sind nun zwei messingene Federn e, f geschraubt, welche den Messingstab g, h tragen; dieser Stab ist so in gleiche Theile getheilt, daß die Theile genau den Schraubengängen und Drahtwindungen der Walze entsprechen; sie fangen bei der ersten Windung rechts mit 0 an und hören links bei der letzten Windung mit der Zahl der Windungen auf. Bei meinem Exemplar gehen 75 Windungen auf 122mm. Ueber den Stab g, h läuft ein Röllchen r; es hat am Umfang eine Rinne, in welche gerade der Neusilberdraht einpaßt; durch die Federn e und f wird das Röllchen ziemlich stark gegen die Drahtwindungen gedrückt, so daß, wenn man die Kurbel E rechts

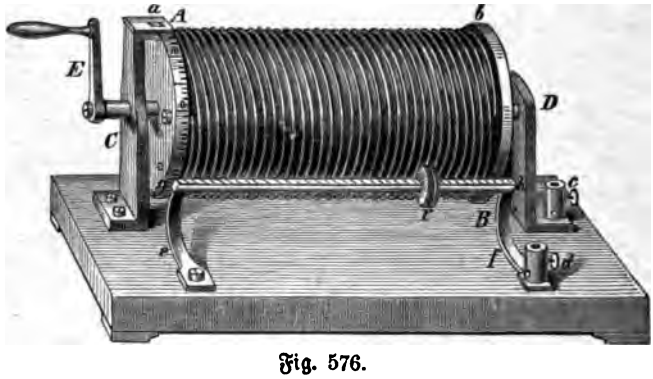


Fig. 576.

oder links dreht, das Röllchen auf dem Stabe g, h links oder rechts läuft. Mit der Feder f steht die Klemme d in Verbindung. Tritt also z. B. bei c ein Strom in den Apparat, so geht er nach der Achse der Walze, von da in den Neusilberdraht, in diesem bis zu der Windung, welche das Röllchen r berührt, geht hier in dieses über und durchläuft dann den Theil des Stabes g, h, der rechts vom Röllchen ist, geht dann in die Feder f, in die Klemme d und von da zum anderen Pol des Rheomotors. Die Abtheilungen des Stabes g, h, rechts vom Röllchen r, geben also die Zahl der Windungen an, die der Strom im Neusilberdraht durchläuft. Da nun die Messingfassung links bei a am Umfange noch in 100 gleiche Theile getheilt ist, so drückt jeder Theil $^1/_{100}$ einer vollen Umdrehung, d. h. einer Drahtwindung aus. Ist also das Röllchen an einen gewissen Theil des Stabes g h gesetzt, und man liest die dabeistehende Zahl ab und setzt, als Decimalbruch mit zwei Stellen, noch die Angabe des Index a dazu, so hat man die genaue Zahl der Drahtwindungen, die der Strom

durchläuft; der Neusilberdraht leitet sehr schlecht; setzt man das Leitungsvermögen des Silbers = 100, so ist das eines gleich dicken Neusilberdrahtes = 7. Der Neusilberdraht setzt also dem Strom einen verhältnißmäßig großen Widerstand entgegen. Da der Widerstand bei demselben Draht der Länge, die der Strom durchläuft, proportional ist, so kann man durch Verschieben des Röllchens am Rheostat beliebige Widerstände in den Strom einschalten und für die Widerstände, welche verschiedene Metalle leisten, ein vergleichbares Maß erhalten, indem man jeden, durch eine bestimmte und allemal gleiche Länge des Drahtes geleisteten Widerstand durch die Zahl der Windungen des Neusilberdrahtes am Rheostat ausdrückt und diese Zahlen mit einander vergleicht.

Man stelle die Tangentenbousole in den magnetischen Meridian, so daß die Nadel auf Null zeigt, stelle auch den Rheostat auf Null, so daß der nachher zu schließende Strom durch keinen Theil des Neusilberdrahtes gehen kann, schalte dann beide Instrumente in die Leitung ein und schließe den Strom. Man beobachte die Ablenkung der Nadel an der Bousole, sie sei α^0. Nun schalte man einen mehrere Meter langen Kupferdraht in die Leitung ein, (wir wollen seine Länge mit l bezeichnen), so wird dadurch der Widerstand größer, die Nadel wird eine geringere Ablenkung zeigen; sie zeige auf β^0 ($\beta < \alpha$). Man nehme jetzt den Kupferdraht aus der Leitung heraus und bringe denselben Widerstand durch den Rheostat selbst hervor, indem man durch Drehen der Kurbel das Röllchen r so verschiebt, daß der Strom genöthigt wird, durch einen Theil der Windungen des Neusilberdrahtes zu gehen, so weit nämlich, daß die Bousole wieder, wie beim eingeschalteten Kupferdraht, β^0 Ablenkung zeigt. Man lese die Windungen vom Rheostat ab, durch welche der Strom jetzt geht; es seien m Windnngen. Ein Kupferdraht von der Länge l leistet also denselben Widerstand wie m Drahtwindungen am Rheostat. Man bringe jetzt den Rheostat wieder auf Null und schalte einen Draht aus einem anderen Metall, z. B. Neusilber, von gleicher Länge und Dicke mit dem Kupferdraht, in die Leitung ein, beobachte die Ablenkung der Bousole; sie betrage γ^0; dann nehme man den Neusilberdraht aus der Leitung und bringe dieselbe Ablenkung durch den Rheostatdraht hervor; wir nehmen an, es gehören n Windungen dazu. Der Widerstand des Neusilberdrahtes kommt also dem von n Windungen des Rheostats gleich. Der Widerstand des Neusilberdrahtes ist also $\frac{n}{m}$ mal so groß als der des Kupfers; $\frac{n}{m}$ ist der specifische Leitungswiderstand des Neusilbers auf Kupfer bezogen, d. h. wenn der des Kupfers = 1 gesetzt wird.

Gerade eben so kann man den Leitungswiderstand anderer Metalle finden. Drähte von gleicher Länge kann man sich immer verschaffen, nicht aber von gleicher Dicke. Allemal wird man vor dem Versuche die Dicke der Drähte genau messen; finden sich die Dicken ungleich, so bestimmt man erst den Widerstand wie wenn die Drähte gleiche Dicken hätten und reducirt denselben dann auf gleiche Dicken, nach dem Gesetze

daß die Widerstände sich umgekehrt wie die Quadrate der Dicken verhalten. Am einfachsten ist es immer, die Widerstände auf einen Kupferdraht von $1^{mm.}$ Dicke zu beziehen; ist dann der Widerstand eines anderen Metalls, bei $d^{mm.}$ Dicke $= w$ gefunden, so ist derselbe, auf die Dicke von $1^{mm.}$ bezogen, $= \frac{w}{d^2}$.

Nimmt man, mit Jacobi, den Widerstand eines Kupferdrahtes von $1^{m.}$ Länge und $1^{mm.}$ Dicke zur Widerstandseinheit an, so kann man den Widerstaud bei beliebigen Längen und Dicken in dieser Einheit ausdrücken. Ist derselbe bei der Länge l und Dicke d von der Größe w, so ist er auf die genannte Einheit bezogen, $= \frac{l}{d^2} w$.

3. Magnetisirung des Eisens und Stahls.

Windet man um eine dünne Glasröhre von 1 bis $2^{dm.}$ Länge einen Kupferdraht so, daß sich die Windungen nicht gegenseitig berühren, verbindet die Enden des Drahtes mit den Polen eines galvanischen Elementes, und steckt in die Glasröhre einen Eisenstab, so nimmt dieser, so lang der Strom durch den umgewickelten Draht läuft, magnetische Polarität an. Man überzeugt sich davon, wenn man eine auf einer Spitze oder am Faden schwingende Magnetnadel dem einen, dann dem anderen Ende des Eisenstabes nähert, es wird dort der eine, hier der andere Pol der Nadel angezogen. Welches Ende Nord-, welches Südpolarität annehme, hängt von der Richtung des positiven Stromes im Drahte und von der Art der Drahtwindungen ab, d. h. davon, ob letztere eine rechts- oder linksgewundene Schraube (s. S. 111) bilden. Aus dem Gesetze der Ablenkungen folgt: in einer rechtsgewundenen Schraube entsteht ein Nordpol an der Austrittsstelle, in einer linksgewundenen an der Eintrittsstelle des positiven Stroms. In der rechts gewundenen Schraube aber geht der Strom für den ihn vom Eintritt aus beschauenden Beobachter wie der Zeiger einer Uhr, in der linksgewundenen entgegengesetzt.

Für mehr in die Augen fallende Wirkungen verschaffe man sich eine hölzerne Spule AB (577), welche an beiden Enden vorstehende (hölzerne) Scheiben hat und der Länge nach durchbohrt ist; die Bohrung sollte etwa $1^{cm.}$ weit sein. Ueber die Scheiben A, B hinaus erhält der Cylinder noch die kurzen Fortsätze a, b. Um diesen Hohlcylinder wickle man einen mit Seide umsponnenen Kupferdraht in mehreren Lagen, lege ihn mit a, b auf ein Stativ von der Form der Zeichnung, verbinde die Enden k, z des Drahtes mit dem positiven und negativen Pol eines aus 4 Bunsen'schen Elementen bestehenden Rheomotors und lege in die Bohrung der Spule den Eisenstab CD; wenn der Strom geschlossen ist, wird der Stab magnetisch, und zwar erhält er, Falls der Draht eine rechtsgewundene Spirale darstellt und der positive Strom bei A eintritt, am Ende C den Nordpol. Wechselt man die Pole, so daß der positive Strom bei B eintritt, so erhält C den Südpol.

Zu solchen Stromwechseln dient der Stromwender, Gyrotrop, oder Commutator, mit dessen Hülfe dem Strome die entgegengesetzte Richtung gegeben werden kann, ohne die Drähte aus den Klemmen loszuschrauben. Es giebt verschiedene Vorrichtungen dieser Art. Da es nur ein Nebenapparat ist, begnügen wir uns, die einfachste Form des Stromwenders zu beschreiben. Auf einer 2,5cm. dicken Scheibe AB (Fig. 578) von hartem Holz sind sechs kupferne Näpfchen a, b, c, d, e, f eingelassen. Die Näpfchen a und c sind durch einen an beide angelötheten Kupferdraht verbunden; dasselbe ist der Fall mit b und d, indem der Draht bd, da wo er über a und c fortgeht, eine Biegung macht, um ein Ueberleiten des Stromes vom einen zum andern zu verhindern. Hierzu gehört nun noch ein von dem eben beschriebenen

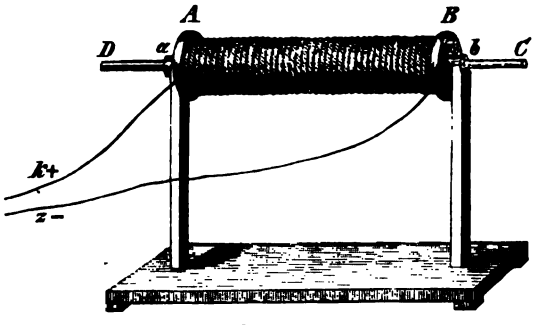


Fig. 577.

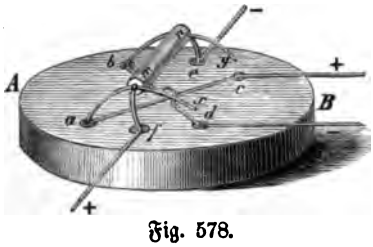


Fig. 578.

trennbarer Apparat; dieser besteht aus der starken Glasröhre mn, in die an jedem Ende mit Schellack oder Siegellack ein starker Kupferdraht mf, ne eingekittet ist (wir nennen den Draht mit dem Buchstaben des Näpfchens, worin er eingetaucht ist); beide Drähte sind in derselben Ebene so gebogen, daß wenn ihre Enden in die Näpfchen f und e eintauchen, die Glasröhre mn noch etwa 3cm. über der Holzscheibe AB liegt. Dicht an der Röhre mn sind auf die schon genannten Drähte die halbkreisförmig gebogenen Drähte gelöthet, deren Enden in der Zeichnung einerseits in die Gefäße a,b tauchen, andererseits bei x,y in der Luft schweben. Uebrigens müssen die Drähte ax

und b y in verticalen, also einander parallelen Ebenen liegen, wenn die Röhre m n horizontal gehalten wird. Sämmtliche sechs Näpfchen werden mit Quecksilber gefüllt; in e und f werden die Drähte vom Rheomotor getaucht, in c und d die vom Apparat, in welchem der Strom wirken soll. Stellt man dann, wie in der Figur, m n so, daß zwei Drähte in a und b tauchen, und steht f mit dem positiven, e mit dem negativen Pol in Verbindung, so geht der positive Strom von f nach a und c, der negative von e nach b und d. Dreht man aber die Röhre m n so herum, daß x in d, y in c taucht, so geht jetzt der positive Strom von f nach d, der negative von e nach c; der Strom ist umgekehrt.

Nimmt man bei dem mit Bezug (Fig. 577) angegebenen Versuche statt des Eisenstabes C D einen Stahlstab, so wird dieser bleibend magnetisch, während der Eisenstab, wenn der Strom unterbrochen wird, wieder in den unmagnetischen Zustand zurückkehrt. Der Strom kann also dazu benutzt werden, im Eisen vorübergehenden, im Stahle bleibenden Magnetismus zu erregen, letzteren in Magnete zu verwandeln.

Um kräftige Electromagnete anzufertigen macht man sich eine Drahtspirale aus $3^{mm.}$ dickem, mehrere Meter langem, mit Seide umsponnenem Kupferdraht, die aber nur $2^{cm.}$ lang ist, läßt einen kräftigen Strom durch dieselbe gehen, steckt den zu magnetisirenden Stahlstab mit dem einen Ende in die wohl befestigte Spirale und bewegt ihn bis zum anderen Ende durch die Spirale durch, von da wieder zurück und wiederholt diese Bewegung mehreremal; zuletzt öffnet man den Strom wenn der Stab gerade mit seiner Mitte sich in der Spirale befindet. Auch hufeisenförmige Stahlstäbe werden so magnetisirt, indem man sie von einem Ende zum andern durch die vom Strom durchflossene Spirale hindurch bewegt. Vortheilhaft ist es, an das Hufeisen während der Operation den Anker anzulegen.

Statt der Drahtspiralen wendet man auch Bandspiralen an, wie (Fig. 579). Man verfertigt sie aus einem hinreichend langen, $1—2^{cm.}$ breiten Kupferstreifen, den man seiner ganzen Länge nach, mit Ausnahme der äußersten Enden, mit seidenem Band umwickelt, dann zu einer Spirale windet und durch wollenes oder seidenes Band so bindet, daß sie ihre Form bleibend behält.

Einen temporären Electromagnet stellt man aus einem Hufeisen, das durch starkes Ausglühen in der Esse so weich wie möglich gemacht ist, dadurch her, daß man es mit seidenem Band umwickelt, dann einen starken (unbewickelten) Kupferdraht weitläufig darum windet, so daß die Windungen sich nicht berühren, endlich die Enden k, z (Fig. 580) gerade ausbiegt; a b ist ein Anker, der angelegt wird, sobald das Eisen magnetisch geworden ist. Um die Drahtenden mit den Polen des Rheomotors zu verbinden, bringt man bei k und z geeignete Klemmen an. Um das Hufeisen aufzuhängen und am Haken c mit Gewichten zu belasten, muß man die Biegung oben bei B isoliren, zu dem Zwecke also noch mit einem Stück Seidenzeug umgeben und dann das Ganze an

einen Arm der Halterstange hängen. Die Pole entstehen nach dem schon angeführten Gesetze; die Zeichnung stellt hier eine linksgewundene Schraube dar. Wenn also hier der positive Strom bei k eintritt, so wird dieses Ende des Hufeisens zum Nordpol.

Eine andere Form des hufeisenförmigen Electromagnets stellt (Fig. 581) vor. Auf jeden Schenkel des Hufeisens ist eine Spule von Holz aufgesetzt und gehörig festgeklemmt; auf die Spulen ist ein starker, mit Seide umwickelter Kupferdraht in mehreren über einander liegenden Lagen aufgewickelt, rechts oder links, aber wenn die Umwickelung von der einen

Fig. 579.

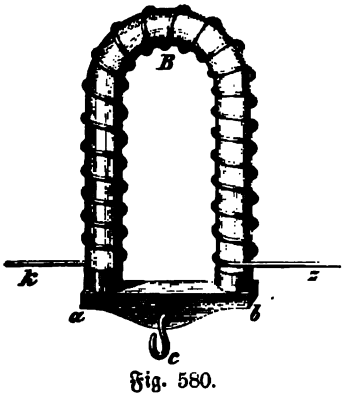


Fig. 580.

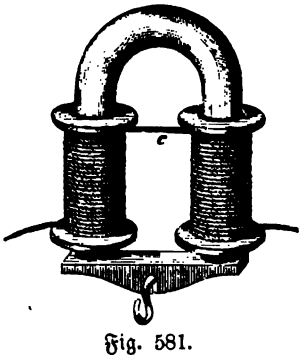


Fig. 581.

zur andern Spule übergeführt wird, wie hier bei c, muß man darauf achten, daß der Draht auf der zweiten Spule in demselben Sinne gewickelt wird, wie auf der ersten, rechts, wenn er rechts gewunden war, links, wenn er auf der ersten links gewickelt war.

Es ist einleuchtend, daß die Dimensionen des Eisenstabes, Dicke und Länge des zur Spirale verwendeten Kupferdrahtes und die Stromstärke des Rheomotors in einem gewissen Verhältniß stehen müssen, um mit den zur Verfügung stehenden Mitteln Electromagnete von möglichst großer Kraft zu erzeugen. Wir können indeß auf diesen Gegenstand hier nicht näher eingehen.

4. Wirkung des Magnets auf bewegliche Ströme.

Zu vielen der nun zu behandelnden Erscheinungen der electromagnetischen Bewegungen gebraucht man die Ampère'schen Gestelle. So vortrefflich diese Apparate sind, habe ich doch mich veranlaßt gesehen, eine Aenderung daran anzubringen. Die Reibung der Metallspitzen auf den unterliegenden Flächen ist nämlich bei den meisten dieser Apparate, namentlich da, wo Stahlmagnete in Rotation gebracht werden

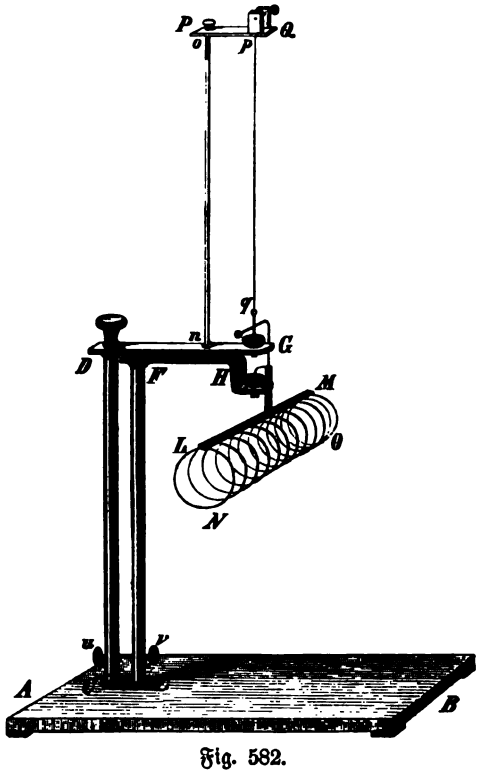


Fig. 582.

sollen, so groß, daß schon recht große Ströme von mehr als einem Element dazu gehören, um diesen Widerstand zu überwinden. Ich lasse daher jetzt alle rotirenden Theile dieser Apparate an Coconfäden aufhängen und so einrichten, daß die Reibung fast ganz beseitigt wird, da der Faden, und der damit rotirende Apparat durch ein ganz feines Schräubchen bequem gestellt und so seine Lage justirt werden kann. Man reicht bei dieser Einrichtung mit dem Strome eines einzigen Elementes aus, was unter allen Umständen wünschenswerth, aber be-

sonders beim Schulunterricht, wo die Experimente in einer kurzen Stunde abgemacht werden müssen, von großem Vortheil ist. Ueberdies sind messende Versuche, eben weil die Reibung einen großen Theil der wirkenden Stromkraft aufzehrt, bei der gewöhnlichen Construction dieser Apparate ganz unmöglich.

Am einfachsten zeigt man die Wirkung des Magnets auf einen beweglichen Strom durch das Solenoid (Fig. 582). Auf dem Fußbrett A B sind die zwei Messingsäulen C D, E F befestigt; sie sind nach Unten hin doppelt durchbohrt; in die eine Bohrung werden die vom Rheomotor kommenden Drähte eingesetzt, in die andere die Schräubchen u,v, um die Drähte festzuklemmen. Bei D und F sind die horizontalen Messingstäbe D G, F H aufgesetzt; zwischen ihnen liegt eine isolirende Elfenbeinplatte. Auf D G ist bei G ein kupfernes Schälchen aufgesetzt, F H ist bei H zweimal rechtwinklig gebogen und trägt an seinem Ende

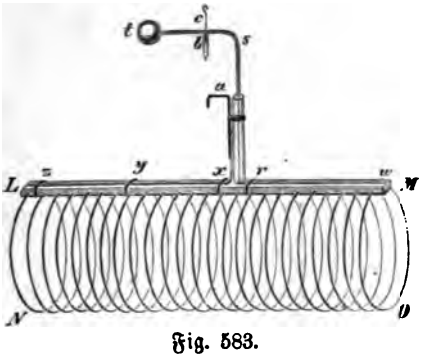


Fig. 583.

ebenfalls ein kupfernes Schälchen. Beim Gebrauche wird in diese Näpfchen Quecksilber gegossen, um die Stromleitung zu dem nun zu beschreibenden Solenoid fortzuführen. Das Solenoid ist in (Fig. 583) größer gezeichnet. An ein Holzstäbchen L M ist der Kupferdraht a x z bei x,y und z durch einen seidenen Faden festgebunden; bei a ist er zweimal rechtwinklig gebogen, so daß das Ende desselben hier senkrecht nach Unten gerichtet ist. In z setzt sich der Draht in spiralförmigen Windungen fort, indem zur Befestigung jede Windung mittelst eines durch feine Bohrungen des Stäbchens L M hindurchgezogenen Seidenfadens an dieses festgebunden ist, bis er endlich, nach der letzten Windung bei M, oben über das Stäbchen fortgeführt und bei w und v wieder mit Seide festgebunden wird; bei v wird er senkrecht nach Oben gebogen und, zur besseren Isolirung, durch ein dünnes Glasröhrchen geführt; bei s erhält er eine Biegung zur horizontalen Richtung; an's Ende wird eine kleine Messingkugel t angeschraubt, um beim Aufhängen das Gleichgewicht herzustellen und dem Solenoid eine horizontale Lage zu geben. Die Ebenen der Windungen L N.... M O liegen

alle nahezu senkrecht gegen die Längendimension des Stäbchens L M. In dem Schenkel st des Drahtes ist das unten zugespitzte Stahlstäbchen b durch Verschraubung und Löthung angebracht, zu welchem Zweck der Draht st an dieser Stelle etwas breit geschlagen, oder durch Anlöthen dicker gemacht ist. Eben da ist nach Oben hin ein dünnes Messingstäbchen c, das oben zu einem Häkchen gebogen ist, eingelöthet.

Auf den Stab D G (Fig. 582) wird das Stäbchen n o aufgeschraubt; dieses trägt oben die Platte P Q mit zwei Ständern, zwischen welchen sich die drehbare Aufhängungsachse des Coconfadens p q, der Wirbel, befindet. An den Faden wird bei q das Solenoid in der Art angehängt, daß seine obere Spitze in das obere, die untere in das untere Quecksilbergefäß taucht. Die obere Spitze stößt zwar auf den Boden des Gefäßes auf, kommt jedoch eben nur zur Berührung damit, der Faden muß das Meiste vom Gewicht des Instruments tragen. Da jedoch das Kupfer des Gefäßbodens an der Stahlspitze zu große Reibung veranlassen würde, so setzt man einen Stahlstift in den Boden und dreht ihn oben zum kegelförmigen Lager aus, in welchem die Stahlspitze den Stützpunkt erhält. Die untere Spitze ist ein einfacher Stift von Kupferdraht, der blos, der Leitung wegen, ins Quecksilber eintaucht, ohne den Boden des Gefäßes zu berühren.

Wenn das Instrument nicht gebraucht wird, dreht man den Wirbel so weit links herum, daß die Stahlspitze b in der Pfanne aufliegt; vor einem anzustellenden Versuche wird der Wirbel rechts gedreht, so daß die Spitze b den Boden nur gerade berührt, die Pfanne eben nur als Führung dient. Hat man dann in die Klemmen u,v die Poldrähte eines Rheomotors eingeführt, so nimmt das Solenoid augenblicklich magnetische Polarität an, und zwar nach dem schon wiederholt erwähnten Gesetze, nach welchem in einer rechtsgewundenen Schraube an der Austrittsstelle, in einer linksgewundenen an der Eintrittsstelle ein Nordpol entsteht. Nähert man daher dem Solenoid den einen Pol eines Magnetstabes, so wird das eine Ende desselben angezogen, das andere durch denselben Pol abgestoßen werden. Bei etwas kräftigerem Strome ersetzt der Erdmagnetismus den Stahlmagnet, das Solenoid richtet sich, dasselbe Gesetz befolgend, wie ein frei beweglicher Magnet und kommt endlich im magnetischen Meridian zur Ruhe, dasjenige Ende nach Norden wendend, welches vom Nordpol des Stahlmagnets abgestoßen wurde. Richtet man zwei Solenoide in gleicher Weise ein, so werden sie sich anziehen und abstoßen wie zwei Magnete.

Die durch einen Magnet bewirkte Rotation des Stromes kann sehr schön durch den Apparat (Fig. 584) gezeigt werden. Auf dem mit Stellschrauben versehenen Fußbrett A B ist der messingene Ständer C D aufgestellt und durch eine an der Unterfläche des Brettes aufgeschraubte Mutter befestigt. Auf C D lassen sich mittelst der Hülsen E und G und der aus der Zeichnung ersichtlichen Schrauben die Arme E F und G H in jeder Höhe feststellen. G H trägt die Holzplatte H J, in welcher an der oberen Fläche eine Rinne ausgedreht ist; in der

Mitte ist sie überdies durchbohrt. Im Fußbrett ist unter der Mitte dieser Durchbohrung der Platte H J eine Drahtklemme K angebracht, diese nimmt den Stahlmagnet M L in eine Höhlung auf, in welcher der Magnet durch eine Schraube festgehalten wird. Man richtet gewöhnlich den Südpol des Magnets nach Oben. Ueber dieses obere Ende L ist eine etwas weitere Hülse von Stahl gelegt, die an der oberen Fläche zu einem Schüsselchen ausgedreht ist, welches man beim Gebrauche mit Quecksilber füllt. Der gebogene Kupferdraht a b c ist bei b durch einen stärkeren Kupferdraht b d geführt und in diesen ein-

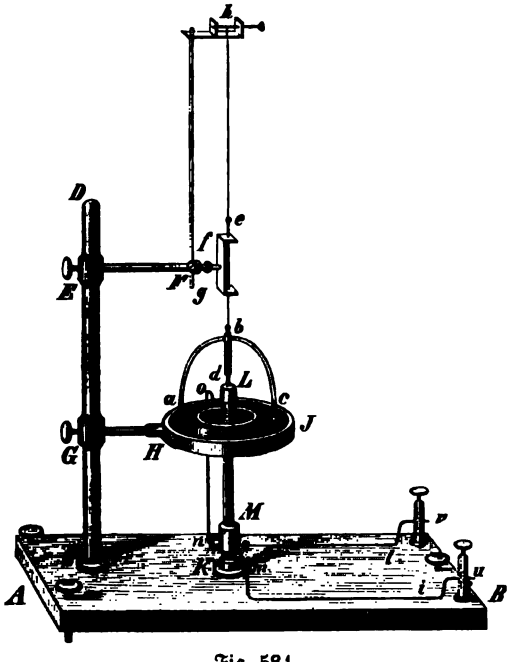


Fig. 584.

gelöthet. Unter a und c sind an ersteren Platinplättchen gelöthet, welche nach Unten spitz zugeschnitten sind; an b d ist unten eine Stahlspitze befestigt, welche in der Höhlung bei L (im Quecksilber) aufsteht. Bei b endigt dieses Stäbchen in ein Häkchen, an welches ein dünner Draht b e angefügt wird; dieser Draht erhält Führung durch die leicht verständliche, an den Arm E F angebrachte Vorrichtung f g: bei e wird in ein Häkchen des Drahtes b e ein einfacher Coconfaden angebracht, der bei h an einem eben solchen Wirbel, wie beim Solenoid, auf- und abgewunden werden kann. Die kleinen Ständer u, v sind Drahtklemmen; der starke Kupferdraht u i m wird durch eine in der Zeichnung nicht sicht-

bare Schraube von der Rückseite her festgeklemmt, bei m wird er in den Halter des Magnets L M festgeklemmt; der andere Draht v l n ist bei n in die Verticale gebogen, erhebt sich bei o etwas über den Rand der Holzrinne H J und wird hier so umgebogen, daß sein Ende in die Rinne hineinreicht. In die Rinne H J wird so viel Quecksilber gegossen, daß der Draht unterhalb o und die Platinspitzen bei a und c in dasselbe hineinreichen; letztere dürfen jedoch nicht viel mehr als die Quecksilberoberfläche berühren, weil sonst für die drehende Bewe-

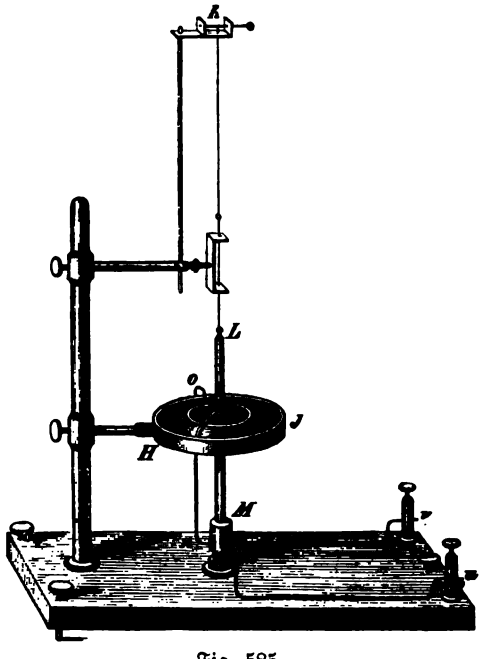


Fig. 585.

gung des Leiters a b c ein zu großer Widerstand entstände. In die Klemmen bei u und v werden noch die Polardrähte des Rheomotors eingefügt und mittelst der oberhalb sichtbaren Schräubchen festgeklemmt. Bei L wird in die dort eingebohrte Vertiefung, um die Stromleitung zu vermitteln, etwas Quecksilber gegossen. Mittelst des Wirbels h wird der Leiter a b c sehr lose aufgehängt, so daß die Stahlspitze d kaum den Boden berührt. Kommt dann der positive Strom z. B. von u her, so geht er bei m in den Magnet, von da durch a b c in das Quecksilber der Rinne und durch den Draht o n l v nach dem anderen Pol des Rheomotors. Der Leiter a b c wird in der Richtung des Uhrzeigers rotiren; kehrt man die Pole um, so erfolgt die Drehung in

entgegengesetzter Richtung. Wäre der Nordpol des Magnets nach Oben gerichtet, so würde, bei gleicher Stromrichtung, die Drehung ebenfalls eine entgegengesetzte sein.

In (Fig. 585) ist ein Apparat vorgestellt, bei dem ein Magnet L M um einen festliegenden Strom rotirt. Die Einrichtung ist der der vorigen Figur so ähnlich, daß kaum noch etwas zu sagen nöthig ist. Auf dem Magnet L M, der hier bei M in einer Spitze endigt welche in der Pfanne aufliegt, ist bei q eine Messinghülse aufgeschoben, von der Hülse geht ein Messingstäbchen aus, an das ein Platinplättchen

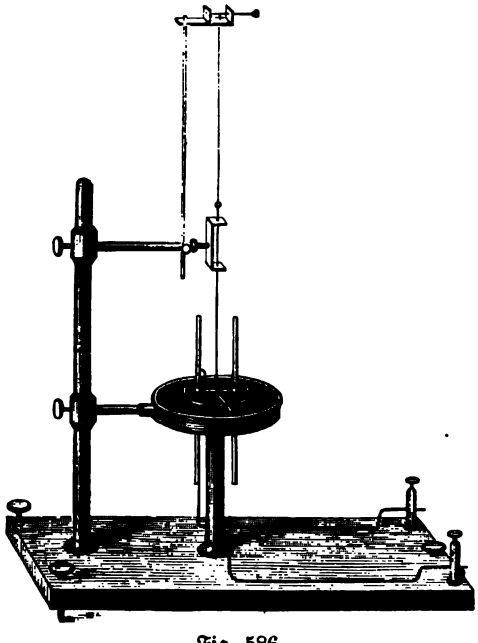


Fig. 586.

angelöthet ist, dessen äußerste Spitze nach Unten gebogen wird, um sie mit dem in der Rinne H J befindlichen Quecksilber in Berührung zu bringen. In die Vertiefung bei M wird ebenfalls etwas Quecksilber gegossen. Mit dem Wirbel h wird der Magnet so gehoben, daß die Reibung im Lager auf ein Minimum zurückgeführt wird.

In (Fig. 586) ist derselbe Apparat mit zwei Magneten dargestellt. Natürlich müssen beide Magnete die gleichnamigen Pole nach Oben kehren. Ihre Verbindung ist durch einen Querstab bewirkt, welcher zwei Hülsen trägt, in die die Magnete eingesteckt werden; zwei seitliche Schräubchen halten sie darin fest. Die Leitung zum Quecksilber in der Rinne wird, wie beim vorigen Apparat, durch ein horizontales Stäb-

chen mit Platinansatz bewirkt, und geht dieser Theil von der Mitte des Querstabes aus, wo auch der Haken zum Aufhängen des Apparates angebracht ist.

Daß alle diese Apparate bei den Versuchen genau horizontal aufgestellt werden müssen, ist selbstverständlich: man versieht sie daher mit Fußschrauben. Es ist indeß dennoch zu empfehlen, sie auf eine horizontal gestellte Richtplatte zu setzen, weil es sich während des Versuches mitunter noch vernothwendigt, sie zu drehen oder zu schieben, wo

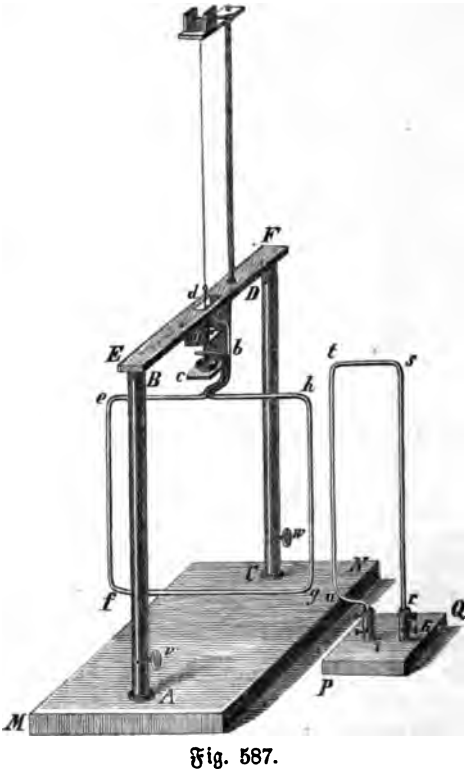


Fig. 587.

sie dann, wenn sie auf dem Tische stehen, sofort wieder aus der richtigen Lage herauskommen, auf der Platte dagegen immer richtig bleiben.

In (Fig. 587) stellen wir einen Apparat dar, der dazu bestimmt ist, die Anziehung und Abstoßung zweier Ströme zu zeigen. Auf dem Fußbrett M N sind zwei Metallsäulen A B, C D errichtet; oben werden sie durch eine Holzplatte E F verbunden; dicht unter dieser Holzplatte ist auf jedem Ende ein Kupferstreifen auf B und D aufgesetzt; jeder derselben geht bis gegen die Mitte von E F hinein und biegt sich

dann zweimal rechtwinklig um, wie links a, rechts b c, letzterer reicht etwas tiefer als a; der letzte Schenkel beider liegt wieder horizontal; auf ihn ist je ein kupfernes Schüsselchen aufgelöthet, worein man beim Versuche etwas Quecksilber gießt. Bei d, zwischen den Kupferstreifen, hat die Holzplatte einen Einschnitt, um das Stäbchen und den Faden durchzulassen, woran die Stromleiter aufgehängt werden; v, w sind die Schräubchen, mit welchen die vom Rheomotor kommenden Drähte, nachdem sie in die senkrecht dagegen stehenden Bohrungen gesteckt sind, festgeklemmt werden.

In der Zeichnnng ist ein quadratisch oder doch rechteckig gebogener Leitungsdraht e f g h eingeschaltet, dessen Einrichtung man besser aus (Fig. 588) ersieht, der von dem in (Fig. 587) nur dadurch abweicht, daß er kreisförmig gebogen ist. Die Enden des Drahtes sind einerseits nach m n o p q und nach m' n' o' p' q' gebogen: y ist ein in p' q' eingesetzter Stahlstift, an q' ist eine kleine Messingkugel angeschraubt, um das Gleichgewicht des Apparates herzustellen und das Stäbchen p' q' stets in horizontaler Lage zu erhalten, wenn es, wie in (Fig. 587) zu sehen, mit dem Stift y in das obere Schälchen bei a eingesetzt wird. Die beiden Schälchen, und ebenso die Stifte x und y stehen genau senkrecht über einander; y steht auf dem Boden des Schälchens auf, x taucht blos in das Quecksilber des unteren Schälchens ein. Zwischen m n o p und m' n' o' p' ist ein Isolator eingeschaltet, ein mehrfach zusammengelegtes Stück Seidenzeug, das sammt den Drähten mit Seidenfaden umbunden wird; bei z ist noch ein Messingstäbchen angelöthet, das mit der Achse an dem in (Fig. 587) sichtbaren Faden angehängt wird; die weitere Aufhängung ist aus den vorangehenden Apparaten deutlich.

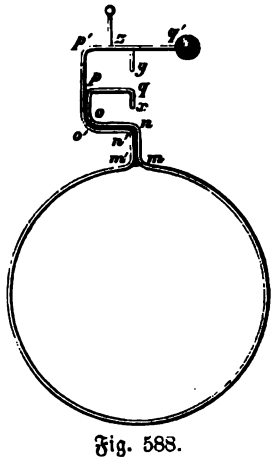


Fig. 588.

Auf einem zweiten Fußbrett P Q sind die Klemmen i, k mit doppelten Schrauben aufgesetzt; die oberen Schrauben halten den Leitungsdraht r s t u fest, die unteren dienen dazu, die Leitungsdrähte eines zweiten Rheomotors festzuklemmen.

Dieser letzte Apparat auf dem Fußbrett P Q läßt sich nun dem ersteren beliebig nähern: dadurch kommen zwei parallele Ströme u t und g h einander so nahe, daß sie auf einander wirken können. Da nun hier der eine Strom g h beweglich ist, so wird der andere u t denselben anziehen, wenn beide gleich gerichtet sind (beide von Unten nach Oben, oder beide von Oben nach Unten gehen), und abstoßen, wenn die Ströme entgegengesetzte Richtung haben (der eine von Unten nach Oben, der andere von Oben nach Unten geht). Durch Umkehren der

Stromrichtung an dem Apparat P Q wird man also nacheinander beide Erscheinungen hervorrufen können. Das Umkehren geschieht am einfachsten mittelst eines eingeschalteten Gyrotrops oder Commutators; in Ermangelung desselben kann man aber auch blos die Drähte in den Klemmen vertauschen.

(Fig. 589) stellt einen eben solchen festen Leiter vor, der jedoch mit g h (Fig. 587) nicht parallel ist. Man wird also damit die Versuche über sich kreuzende Ströme anstellen können.

Der Leiter e f g h in (Fig. 587) wird auch schon, ohne einen zweiten Strom, durch den Erdmagnetismus gerichtet, und zwar so, daß seine Ebene senkrecht gegen die Ebene des magnetischen Meridians steht und der positive Strom auf der Westseite aufsteigt, oder, daß der Strom, von der Südseite betrachtet, in der Richtung wie der Uhrzeiger kreist. Dieselbe Drehung kann man auch durch den einen Pol eines Magnets bewirken.

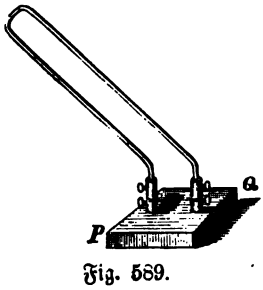


Fig. 589.

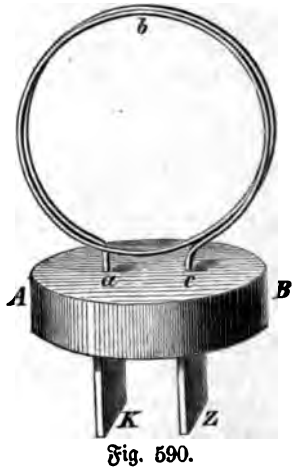


Fig. 590.

Dieselbe Erscheinung läßt sich durch De la Rive's Schwimmer hervorbringen. A B (Fig. 590) ist ein Kork; K, Z sind eine Kupfer- und eine Zinkplatte, welche durch einen mit Seide umsponnenen, in mehrere Windungen gelegten Kupferdraht a b c verbunden sind. Setzt man den Apparat auf angesäuertes Wasser, so entsteht ein Strom, der in der Richtung K a b c Z kreist. Der Apparat stellt sich, wenn der Strom stark genug ist, senkrecht zum magnetischen Meridian, so daß die Kupferplatte K nach Westen hin steht. Auch durch einen Magnetpol läßt sich die Drehung hervorbringen.

Hieher gehört auch Barlow's Rad (Fig. 591). Auf dem Fußbrette A B steht der messingene Ständer C D, auf dem sich der metallene Arm E F verschieben und in beliebiger Höhe feststellen läßt. In der Hülse H läßt sich der Stab G H durch eine Schraube feststellen. In

H ist die metallene Gabel HJ festgelöthet, in der sich um eine fein Achse mit möglichst geringer Reibung das kupferne Rad J drehen läßt. In dem Fußbrett ist eine Rinne KL, in welche so viel Quecksilber gegossen wird, daß die Zähne des Rades bei dessen Drehung dasselbe gerade berühren; an die Rinne legt man einen starken Hufeisenmagnet SMN. Setzt man nun das Quecksilber durch die Drähte ax und xz mit dem einen, das Rad durch den Draht yk mit dem anderen Pol

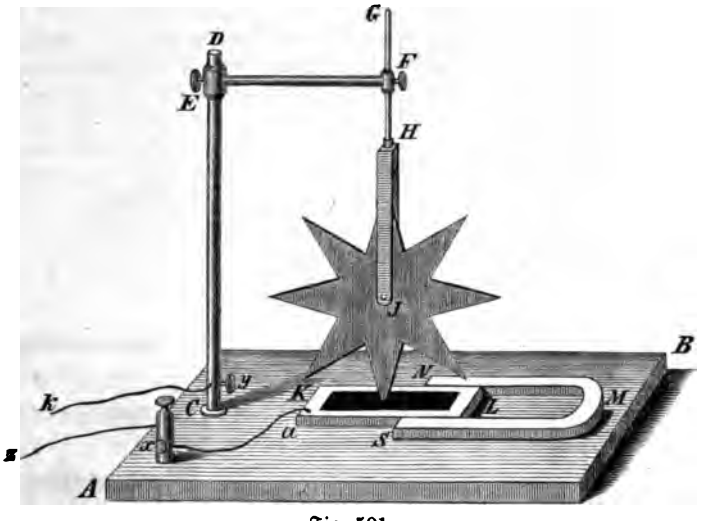


Fig. 591.

eines Rheomotors in Verbindung, so geräth das Rad J in eine rotirende Bewegung. Dreht man die Ebene des Rades in den magnetischen Meridian und legt den Nordpol des Magnets östlich, den Südpol westlich, so wirkt der Erdmagnetismus mit.

XVII. Thermoelektricität.

Um den elementaren Versuch über Thermoelektricität anzustellen bedient man sich eines Wismuthstabes, AB (Fig. 592), an dessen Endt flächen A, B, die Enden eines starken Kupferdrahtes ECDF angelöthe sind. Man setzt das Ganze auf ein Stativ, so daß die Enden etwas über die Unterlage vorragen und richtet die Ebene des Drahtes in den magnetischen Meridian, indem man dem horizontalen Drahtstück CD eine freischwingende Magnetnadel nähert und den Apparat so lange dreht, bis der Draht der Magnetnadel parallel wird. Hält man dann unter die eine Löthstelle eine Spiritusflamme, so weicht die in die Nähe des Drahtes gehaltene Nadel sogleich ab, ganz so wie bei dem elektro=

magnetischen Versuch; die Ablenkungen sind so, als wenn ein positiver Strom von der erwärmten Löthstelle durch den Kupferstreifen nach der kalten Löthstelle hinginge, und von da zur erwärmten Stelle zurück.

Außer diesem muß man nun noch einen genau eben solchen Apparat haben, in welchem der Stab aus Antimon besteht. Die Ablenkungen der Nadel sind dann denen beim Wismuth entgegengesetzt.

Bei den Versuchen ist darauf zu achten, daß die Löthstellen nicht zu stark erhitzt werden, weil sonst die Löthung, namentlich beim Wismuth, aufgehen möchte.

Die hierauf beruhende Thermosäule ist bereits (S. 434) beschrieben und durch (Fig. 457) erläutert worden. Um ihre Zusammensetzung deutlich zu machen, mag (Fig. 593) dienen. Aus Wismuth und Antimon sind rechtwinklige Stücke a b c d, d e f g, g h i k u. s. w. gegossen, wo die Schenkel a b, c d, d e, g h u. s. w. gegen b c, e f, h i, e c nur sehr kurz sind. Das Stück a b c d besteht aus dem einen Metall, d e f g aus dem anderen; in d werden die kurzen Schenkel beider an einander

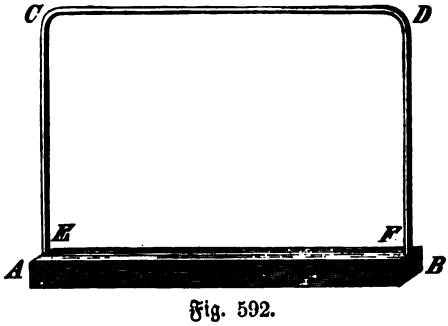


Fig. 592.

Fig. 593.

gelöthet. Diese Löthung muß mit einem Metall geschehen, das leichter schmilzt als Wismuth; es wird diesem daher etwas Blei und Zinn beigemischt, wodurch der Schmelzpunkt niedriger wird. Das Stück d e f g hat wieder zwei kurze Schenkel, wie auch alle folgenden nach beiden Seiten hin mit kurzen Schenkeln versehen sind; allemal werden zwei solche kurze Schenkel der verschiedenen Metalle an einander gelöthet. Die Figur stellt nur eine Reihe der ganzen Zusammenstellung dar. Ist u v w das erste Element der Reihe, so wird daran ein Kupferdraht gelöthet, der nach der Klemme x der (Fig. 457) führt; einen zweiten Ansatz bei w erhält dieses nicht. Ist a b c d das letzte Element der Reihe, so erhält dieses einen Ansatz a b senkrecht gegen die Vorderfläche von b c, ebenso das bei a daran anzulöthende zweite Metallstück, während bei diesem der Ansatz des anderen Endes wieder an die Unterfläche gelöthet wird. So reiht sich daran eine zweite Elementenreihe, die der ersten ganz gleich ist, an diese eine Dritte u. s. w. Meistens macht man so viele Reihen, als in einer Reihe Elemente sind, damit das

Ganze einen quadratischen Durchschnitt bekommt. Zu besonderen Zwecken construirt man indeß auch ganz schmale Säulen aus einer Elementenreihe. Das letzte Element der letzten Reihe wird wieder mit einem Kupferdraht versehen, der nach der Klemme y führt. Besteht der erste, mit der Klemme x verbundene Streifen aus Wismuth, so muß der mit y verbundene aus Antimon bestehen. Von den Klemmen x, y gehen Drähte zum Galvanometer.

XXIII. Die Induction.

1. Elektrische oder Volta-Induction.

Um die elektrische Induction hervorzubringen, dient ein sehr einfacher Apparat. Man lege zwei mit Seide übersponnene Kupferdrähte a b und c d (Fig. 594) der Länge nach neben einander, bezeichne die

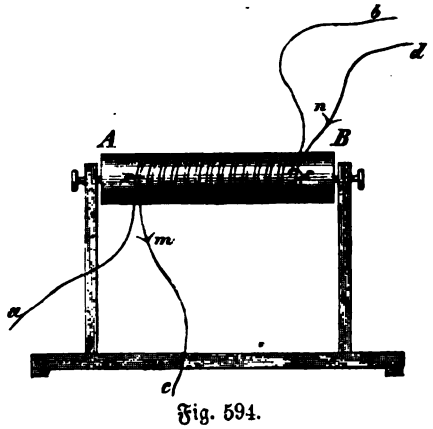


Fig. 594.

Enden des einen so, daß sie leicht wieder als zu demselben Draht gehörig zu erkennen sind, etwa dadurch, daß man an jedes Ende bei m und n einen weißen Faden anknüpft, und wickle die Drähte zusammen um einen Holzcylinder A B, wie (Fig. 594). Um sie in fester Lage zu erhalten, befestige man den Doppeldraht bei r und s durch Drahthäkchen am Cylinder. Den Cylinder kann man noch auf einem geeigneten Stativ aufstellen. Die Enden des einen Drahtes, a, b verbinde man mit den Polen eines Rheomotors, die des anderen, c, d mit einem Galvanometer; so wird die Nadel in Schwingung gerathen, also einen Strom in dem Drahte anzeigen, durch welchen keiner geleitet wird. Der durch den anderen Draht a b laufende Strom erregt demnach in dem benachbarten Drahte einen Strom. Jedoch ist der Ausschlag der Nadel nur augenblicklich, wenn der Strom im Drahte a b geschlossen wird, während des Geschlossenseins hört er auf, entsteht aber wieder, sobald der Strom im

Drahte a b unterbrochen wird. Wenn man die Richtung beobachtet, nach welcher die Nadel ausschlägt, wird man finden, daß der beim Schließen entstehende Strom dem Hauptstrom im Drahte a b entgegengesetzt, der beim Oeffnen entstehende ihm gleich gerichtet ist.

Es ist nicht nöthig, daß die beiden Drähte so dicht neben einander aufgewickelt werden; man wickelt jetzt jeden Draht auf eine besondere Walze, nimmt die für die Inductionsspirale hohl, und steckt die Inductorspirale in diese hinein. Die Hauptspirale wird aus dickem, die Nebenspirale aus dünnem aber desto längerem Drahte gemacht. Verbindet man bei einer solchen Zusammenstellung die Enden der Nebenspirale mit dem möglichst entfernt gestellten Galvanometer, den einen Pol des Rheomotors durch eine Klemme mit dem einen Ende der Hauptspirale, den anderen Pol dagegen durch ein Queckſilbergefäß mit dem zweiten Ende der Hauptspirale, so kann man durch Eintauchen und

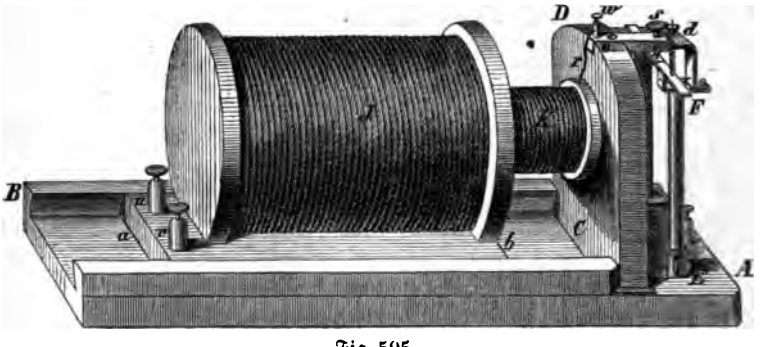


Fig. 595.

Herausziehen des einen der zum Queckſilber führenden Drähte den Strom beliebig schließen und öffnen, ohne erst Klemmen zu lösen; beobachtet man aber dabei die Nadel des Galvanometers, so findet man, daß der Ausschlag, den sie beim Oeffnen macht, dem beim Schließen des Stroms entgegengesetzt ist. Läßt man den wechselnden Strom (den Inductionsstrom) durch den menschlichen Körper gehen, so erregt er heftige Zuckungen.

Die vorzüglichste Anwendung dieser Inductionserscheinungen findet in dem Selbstunterbrecher oder Schlittenapparat von Du Bois Reymond statt. Auf dem Fußbrett A B (Fig. 595) sind seitwärts der Länge nach Falze angebracht, in welchen die Platte a b sich hin- und herschieben läßt. Auf a b ist die Walze der Inductionsspirale J befestigt; außerdem sind die zwei Drahtklemmen u, v darauf angebracht. Die Walze der Inductionsspirale J ist hohl und läßt sich über die Inductionsspirale K schieben, so daß diese mehr oder weniger in jene hineinreicht, die Drahtrollen einander also mehr oder weniger genähert werden können. Die Inductionsspirale K ist in einer kreisförmigen

Oeffnung des auf dem Fußbrett A B feststehenden hölzernen Ständers C D befestigt. Die Enden der Inductionsspirale J gehen nach den Klemmen u, v, das eine Ende der Inductionsspirale K geht bei r nach der Klemme u; diese steht auf einem Messingkörper c d, dessen anderes Ende von der Schraube s durchsetzt wird. Alles Folgende sieht man deutlicher in der etwas vergrößerten Zeichnung (Fig. 596) der Vorderansicht; in beiden Figuren bezeichnen übrigens gleiche Buchstaben dasselbe. E F ist ein messingener Ständer mit Klemmschraube e. Auf F ist ein Plättchen y aufgesetzt, auf welches die senkrechten Ständer m und n o p aufgelöthet sind; durch diese geht der Stift m n, der auch den Messing-

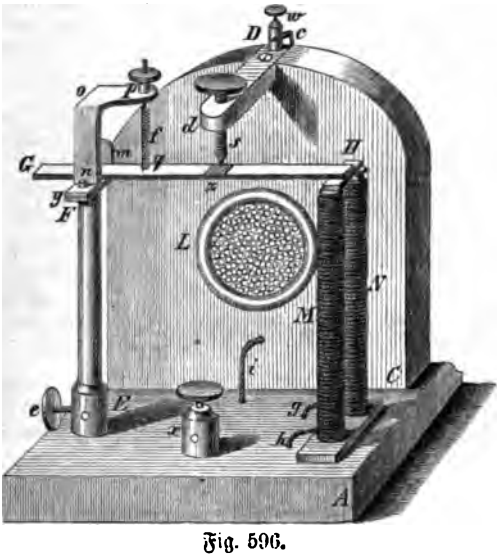


Fig. 596.

stab G H durchsetzt, so daß G H sich um den Stift m n drehen läßt. An den Stab G H ist bei q ein Häkchen befestigt und in dieses eine elastische Drahtfeder f eingehakt, welche oben bei p in ein mit Gewinde versehenes Stäbchen endigt, das durch den Arm o p durchgeht und durch eine Mutter festgehalten wird, dadurch auch mehr oder weniger gespannt werden kann. Die Feder f zieht den Stab G H immer nach Oben, so daß sie im Ruhestand stets gegen die Spitze der Schraube s anliegt. An dieser Stelle, bei z, ist in den Messingstab G H ein Platinplättchen eingelassen. Es darf dieses Plättchen nicht angelöthet werden, weil bei dem Gebrauche des Instruments hier fortwährend Funken überspringen, durch deren Hitze die Löthung sogleich aufgeschmolzen würde; auf das bloße Messing darf man die Funken auch nicht überschlagen lassen, weil das Messing davon angegriffen, oxydirt und selbst geschmolzen würde; das Platin hält die Hitze meist aus, wenn nur das Plättchen

nicht zu dünn ist. Da eine Löthung nicht anwendbar ist, so muß das Plättchen in das Messing eingelassen werden; man feilt zu diesem Zweck einen schwalbenschwanzähnlichen Falz in das Messing, feilt die Seitenkanten des Platins in entsprechender Form zu, so daß sie in die schrägen Seitenschnitte hineinpassen und schiebt dann das Plättchen hinein.

Der Kreis L stellt die Oeffnung in der Wand C D vor. Die Haupt- oder Inductionsspirale ist, wie die andere, hier ebenfalls hohl und der innere Raum wird, wie die Figur zeigt, mit ausgeglühten und gefirnißten Eisendrähten von der Länge der Spirale ausgefüllt. Wie die Erfahrung zeigt, verstärken diese die Wirkung des Apparates.

M, N sind zwei auf einer Eisenplatte befestigte Eisenstäbe, die dicht mit übersponnenem Kupferdraht umwunden sind, und zwar ist der Draht oben von dem einen Eisenkern zum andern übergeführt, so daß die Umwickelungen beider nur einen Draht bilden. Das eine von N kommende Ende dieses Drahtes ist bei g durch das Fußbrett hindurch nach der unteren Fläche geführt und dann bei i wieder nach Oben; hier geht es durch die Wand C D und verbindet sich mit dem einen Ende des Drahtes der Hauptspirale. Das andere, von M kommende Drahtende durchsetzt das Fußbrett bei h und ist von Unten her mit der Klemme x in Verbindung gesetzt. In die Klemmen e und x werden die Drähte von den Polen des Rheomotors eingeführt und durch die in der Zeichnung sichtbaren Schrauben dort festgeklemmt. Die Eisenkerne M und N mit ihrer Umwickelung bilden zwei Elektromagnete; der Stab G H trägt am Ende H ein horizontales, senkrecht zu G H stehendes Eisenplättchen, das als Anker zu den Elektromagneten dient; dieser Anker wird an der unteren Fläche zweckmäßig mit Papier belegt. Im Ruhezustande muß das Plättchen etwas über den Flächen der Eisenkerne stehen, darf dieselben nicht berühren; durch die Schraube s und Feder f läßt sich dies reguliren.

Ist z. B. bei x der positive Poldraht eingesetzt, so geht der Strom von x nach h, durch den Umwindungsdraht des Eisenkerns M, nach der Umwindung von N über, von da nach g, i und zum Draht der Hauptspirale, gelangt zum anderen Ende dieser Hauptspirale und zur Klemme w, in die Schraube s, durch den Stab G H und die Feder f in den Ständer F E, von da zum negativen Pol des Rheomotors. Wenn der Strom im Gange ist, werden die Eisenkerne M, N magnetisch und ziehen den Anker bei H an. Dies geschieht im ersten Augenblick des Stromschlusses. Wenn aber der Anker H von den Eisenkernen M, N angezogen wird, so entfernt sich der Stab G H von der Spitze der Schraube s, es entsteht ein Zwischenraum zwischen der Schraube und dem Platinplättchen z, die Leitung des Stroms wird unterbrochen und durch die Unterbrechung strömt augenblicklich ein kleiner aber blendender Funke. Die Stromunterbrechung bewirkt nun aber, daß die Eisenkerne M, N unmagnetisch werden und den Anker loslassen, worauf dieser, durch die Feder f angetrieben, in die Höhe schnellt und wieder mit der Schraube s in Berührung kommt. Dadurch wird der Strom wieder geschlossen,

die Eisenkerne werden wieder magnetisch und ziehen den Anker wieder an; dadurch wird der Strom abermals unterbrochen, es zuckt wieder ein Funke von s nach z hinüber, der Anker schnellt wieder von den Eisenkernen zurück, der Strom schließt sich wieder u. s. w. In solcher Weise entstehen also schnell hinter einander abwechselnde Schließungen und Oeffnungen des Stroms, folglich in der der Hauptspirale genäherten Inductionsspirale eben so schnell auf einander folgende Stromwechsel; jeder Strom dauert nur einen kurzen Moment und ist dem nächstvorangehenden und nächstfolgenden entgegengesetzt. Setzt man in die Klemmen u, v (Fig. 595) Drähte ein, an deren Enden hohle, metallene Griffe von großer Oberfläche angesetzt sind und faßt diese Griffe mit beiden Händen, so erhält man heftige Erschütterungen. Je weiter man die Nebenspirale J über die Hauptspirale K überschiebt, desto stärker wird der Inductionsstrom, desto kräftiger werden die Erschütterungen. Als Rheomotor dient am zweckmäßigsten das oben beschriebene Chromsäureelement. Statt steifer Drähte dienen als Leiter vom Apparate zu den Handgriffen zweckmäßig leinene Schnüre mit eingeflochtenen Metallfäden, die leicht biegsam sind. Sonst kann man auch jeden Griff in ein besonderes Porzellangefäß legen und Wasser darauf gießen; steckt man dann eine Hand in jedes Gefäß, so erhält man sehr kräftige Erschütterungen; auch lassen sich diese Erschütterungen einer Reihe Personen mittheilen, wenn sie sich alle bei den Händen fassen und die erste Person die freie Hand in das eine, die letzte ihre Hand in das andere Gefäß steckt.

Der Inductionsstrom ist besonders geeignet, die schönen Erscheinungen in den Geißlerschen Röhren darzustellen. Zur Aufstellung der Röhren dient derselbe Apparat, den wir schon oben bei (Fig. 523) für die Reibungselektricität beschrieben.

2. Magnetinduction.

Die Induction durch Magnetismus kann man mit einer Drahtspule wie (Fig. 577) zeigen, wenn sie gerade so wie dort auf ein Stativ gesetzt wird. An die Enden des Spiraldrahtes befestige man mittelst geeigneter Klemmen 3 bis 4 m. lange Kupferdrähte und führe dieselben zu einem eben so entfernt stehenden Galvanometer. Der Draht der Spirale muß möglichst lang, darf aber nur dünn sein. Wenn die Nadel des Galvanometers zur Ruhe gekommen, stecke man in die Höhlung der Spirale den einen Pol eines geraden, kräftigen Magnetstabes; sofort wird die Galvanometernadel einen Ausschlag machen. Läßt man den Magnetstab in der Spirale ruhig liegen, so kehrt die Nadel nach einigen Schwingungen in ihre Ruhelage, die sie vor dem Versuche einnahm zurück. Zieht man nun aber den Magnet wieder aus der Spirale zurück, so schlägt die Nadel nach der der vorigen entgegengesetzten Richtung aus. Durch Näherung und Entfernung des Magnetpols werden also im Draht der Spirale entgegengesetzte elektrische Ströme erregt.

Um stärkere Inductionsströme zu erzeugen dient die Saxton'sche Rotationsmaschine, die in sehr verschiedenen Formen construirt worden ist. Ein kräftiger, aus mehreren Lamellen bestehender Hufeisenmagnet MMM (Fig. 597) liegt auf hölzerner Unterlage und ist durch die Schrauben c, c, c darauf befestigt. Vor den beiden Polen des Magnets

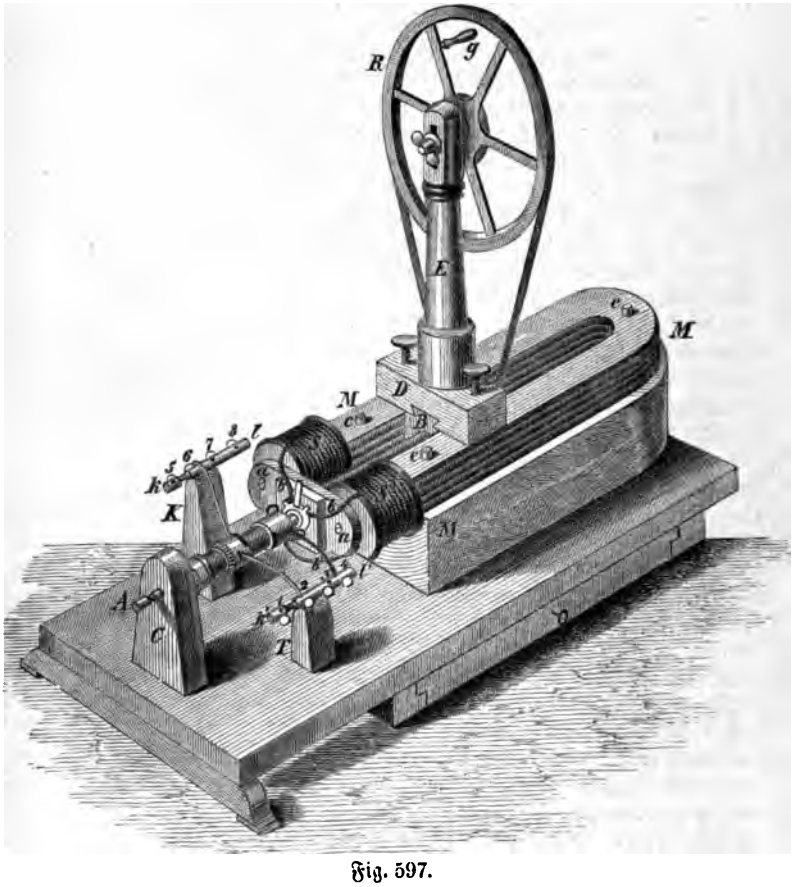


Fig. 597.

sind, auf der Eisenplatte a a befestigt, zwei Drahtspiralen S, S' mit starken Eisenkernen, fest auf einer eisernen Achse A B, wovon das eine Ende A sein Lager in einer in dem hölzernen Ständer C steckenden eisernen Schraube, das andere bei B, zwischen den Magnetschenkeln in einer eben solchen in der Unterlage befestigten Schraube hat. Dieses Holzstück ist so dick wie der völlig sichtbare Holzkörper D, welcher mittelst eines Falzes darauf aufgeschoben ist, und die Achse geht durch ersteres

hindurch, trägt dahinter eine Rolle mit Schnurlauf, endigt dann in eine Spitze, welche von dem Hohlkegel der genannten Schraube aufgenommen wird. Auf D ist die hölzerne Säule E aufgesetzt, welche als Träger für das Rad R dient, das am Griffe g schnell herumgedreht werden kann. Durch Verbindung des Rades mit der Rolle mittelst einer starken Darmsaite wird die Drehung des Rades eine noch schnellere Drehung der Achse AB und der darauf befestigten Drahtspiralen S, S' bewirken, da die Rolle einen viel kleineren Durchmesser hat als das Rad R.

Bei der Drehung der Achse rotiren auch die Drahtspiralen vor den Polen des Magnets. Wenn sie sich den Polen nähern, so wird ein Strom erregt, welcher die Drähte durchläuft; der Nord- und Südpol würden aber in gleichgewundenen Drähten entgegengesetzte Ströme erregen; die Drähte sind daher entgegengesetzt gewunden, der eine rechts, der andere links; folglich ist die Stromrichtung in beiden wieder dieselbe. Sobald die Spiralen (Inductoren) bei den Polen vorbei gegangen sind und sich wieder von ihnen entfernen, wird in den Drähten ein dem ersten entgegengesetzter Strom erzeugt.

Auf der schon erwähnten Eisenplatte aa, welche man besser noch in gerader Ansicht und vergrößert in den (Fig. 598 und 599) sieht, ist eine Holzplatte bbb'b' aufgesetzt; diese nimmt den Apparat auf, der dazu bestimmt ist, die in dem Drahte der Spiralen entstandenen Ströme dahin zu leiten, wo sie verwendet werden sollen und dem Zwecke entsprechend zu ordnen. Dieser Apparat heißt Pachytrop. In der Holzplatte bbb'b' ist ein vertiefter Kreis ausgedreht, in welchen eine eben so große, in der Mitte L durchbohrte Platte c, e von Elfenbein eingelegt ist; diese ist mit zwei halbkreisförmigen Kupferplatten F, G, überdeckt, deren einander zugekehrte geradlinige Begrenzungen einen kleinen Zwischenraum zwischen sich frei lassen; er ist mit m, n bezeichnet; die runde Oeffnung der Kupferplatte ist noch größer als die der Elfenbeinplatte. Die Oeffnung L der letzteren ist dazu bestimmt, die Drehachse AB aufzunehmen, welche hier nur theilweise gezeichnet ist; sie ist aber um 90° aus ihrer wirklichen Lage umgelegt, da sie ja auf der Ebene des Pachytrops senkrecht stehen soll. Auf die Holzplatte bbb'b' sind die vier Kupferplättchen oder Federn 1, 2, 3, 4 aufgeschraubt, die über den Messingring übergreifen. Bei d ist in die eine Hälfte des Kupferringes ein isolirendes Elfenbeinplättchen eingesetzt. An den Kupferring ist endlich der Griff JH angeschraubt, mit welchem derselbe so gedreht werden kann, daß keine der Federn auf das Elfenbeinplättchen d zu liegen kommt, wie in (Fig. 598), oder so, daß die Feder 3 auf d zu liegen kommt, wie in (Fig. 599). Damit aber beide Hälften des Kupferringes, F und G, mittelst des Griffes JH gleichzeitig und zusammen gedreht werden können, sind beide Hälften des Kupferringes an die darunter liegende Elfenbeinplatte festgeschraubt, so daß sich diese immer mitdreht. Auf die Achse AB sind zwei eiserne Walzen w_1 und w_2 aufgesetzt; w_1 ist durch einen untergesetzten Holzring gegen die Achse isolirt, dagegen w_2 unmittelbar auf der Achse aufsitzt, die Walze w_1

hat zuerst eine continuirlich leitende Zone, dann eine andere, welche in eine leitende und eine nicht leitende Hälfte f getheilt ist, indem der Holzeinsatz f die Hälfte des Umfanges einnimmt. Die zweite Walze w_2 hat zuerst eine Zone, deren eine Hälfte leitet, die andere g nicht,

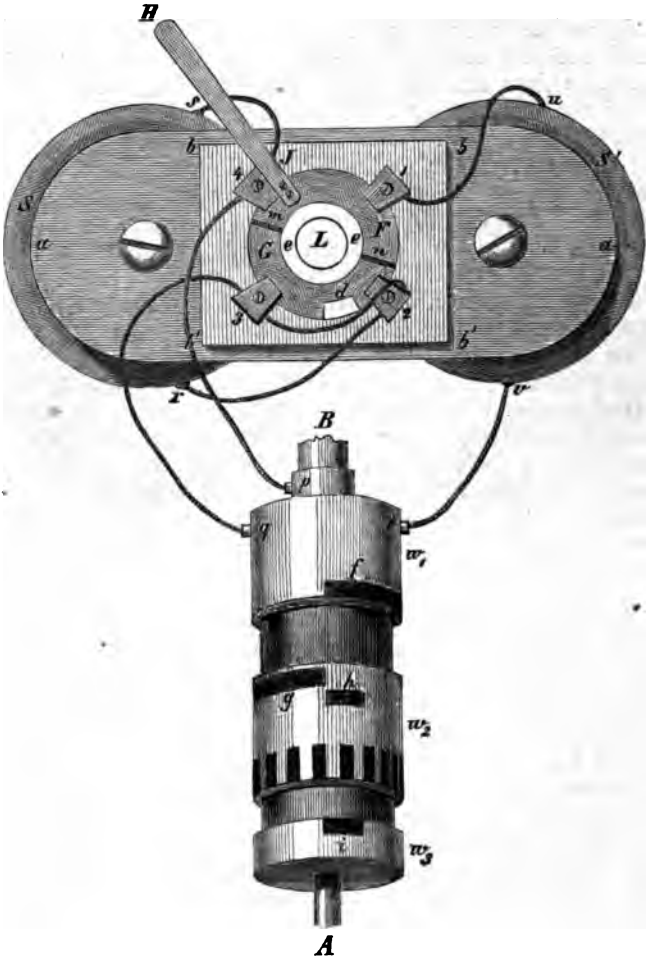


Fig. 598.

und zwar steht die leitende Hälfte dieser Zone der nicht leitenden der Walze w_1 gegenüber; die Walze w_2 hat dann eine Zone, welche durch zwei einander diametral gegenüberstehende Holzeinsätze h, deren Länge etwa $^1/_6$ des Umfanges beträgt, in zwei leitende und zwei nicht leitende

Theile getheilt wird, so gestellt, daß ihr Anfang dem Anfange je einer der beiden Hälften der ersten Zone gerade gegenübersteht. Auf w_2 folgt dann eine durchweg leitende Zone und eine mit 16 schmalen Holzeinsätzen, die mit eben so viel leitenden Eisenflächen abwechseln. Eine dritte Walze w_3 hat zwei Holzeinsätze i wie die Einsätze h auf w_2, endlich noch eine ganz leitende Zone.

Bei r und v treten die inneren Enden der beiden Spiraldrähte zu Tage, s und u sind die äußeren Enden und der Drahtverlauf ist

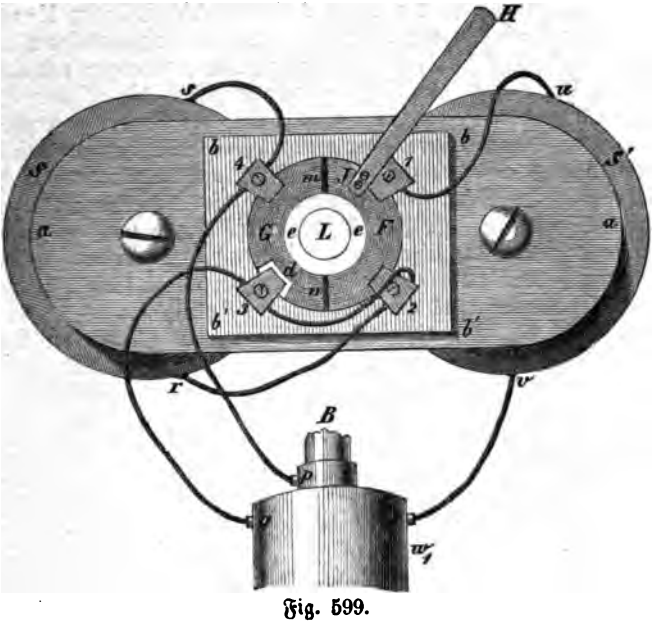


Fig. 599.

folgender: von s zur Feder 4 und zur Achse bei p; von u zur Feder 1 von r zur Feder 2, 3 nach q, endlich von v nach c. Da wo der Draht unter einer Kupferfeder durchgeht, muß er von seinem Seidenüberzug entblößt werden. Für den Stromlauf müssen wir die Lagen der (Fig. 598) und der (Fig. 599) unterscheiden. Bei ersterer, wo keine Feder auf das isolirende Elfenbeinplättchen trifft, geht ein Strom von p durch 4 nach s, durch die Drahtrolle nach r, 2, 3, q; in 4 indeß theilt sich der Strom, indem ein Theil desselben von der Feder 4 auf die Kupferplatte F übergeht und von da nach 1, u, v, t, q. Die beiden Drahtrollen wirken also hier wie zwei neben einander liegende Drähte, durch welche beide ein Strom hindurchgeht.

Dreht man aber die Kupferscheibe so, daß die Feder 3 auf das Elfenbeinplättchen d zu liegen kommt, wie in (Fig. 599), so ist der

Strom auf dem Wege r 2 3 q gegen die Kupferplatte G isolirt; er nimmt daher den Weg p s r 2 1 u v t q und durchläuft beide Drahtrollen nach einander.

Im ersten Falle wirken also beide Drahtrollen wie ein Draht von der Länge einer derselben (440 Fuß), aber von doppelter Dicke, im anderen Falle wie ein Draht von der Länge beider (880 Fuß), aber nur von einfacher Dicke. Die erste Stellung (die Quantitätsstellung) befördert die physikalischen, die zweite (die Intensitätsstellung) die physiologischen Wirkungen.

Zu beiden Seiten der Achse AB sind die Ständer K und F (Fig. 597) aufgerichtet, auf denen die mit der Achse parallelen Messingstäbe k l, k'l' festgeschraubt sind; jeder hat vier Bohrungen mit Klemmschrauben; hier werden nun Messingfedern eingesetzt, die auf den Walzen w_1, w_2 und w_3 der Achse schleifen und, je nach der Art der zu erzielenden Wirkung, verschieden vertheilt werden müssen; man erkennt diese Vorrichtung deutlich aus den (Fig. 600—605), wo die Klemmen auch numerirt sind. In diesen sechs Figuren sind die Mäntel der Walzen als abgewickelt zu denken, sie sind daher in die Ebene voll ausgezeichnet, um desto deutlicher die leitenden und isolirenden Theile, auf welche die eingesetzten Federn während der Rotation der Achse treffen, zu zeigen; die dunkeln Partieen sind immer isolirende Holzeinsätze.

Zunächst hat man die zwei verschiedenen Stellungen der Kupferscheibe FG zu beobachten, (Fig. 598), wo der Hebel HJ, aus der Richtung der Achse AB gesehen, links steht und das Elfenbeinplättchen d von keiner Kupferfeder gedeckt wird, heißt die physikalische, die der (Fig. 599) die physiologische Stellung; der Hebel HJ steht hier nach Rechts hin.

I. Physikalische Stellung.

1. Erregung von Funken (Fig. 600); man setzt hiezu die Federn 2 und 4 in den Halter k'l'; 4 schleift fortwährend auf Eisen, 2 abwechselnd auf Eisen und Holz, ersteres, wenn sich die Drahtrollen von den Polen des Magnets entfernen, letzteres, wenn sie sich den Polen nähern. Durch die isolirenden Holzeinsätze wird also der Näherungsstrom ganz ausgeschieden, man erhält fortdauernd nur den Entfernungsstrom (Oeffnungsstrom). Der Strom ist geschlossen, weil q mit der

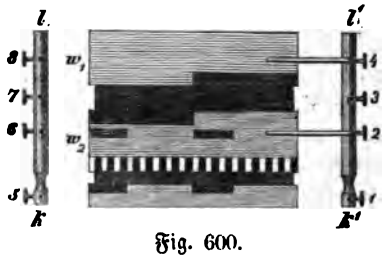


Fig. 600.

Walze w_1, p mit der Walze w_2 verbunden ist und die Federn 2 und 4 mittelst des Stabes k'l' die Walzen w_1, w_2 verbinden. Bei jedem Uebergang der Feder 2 von Holz auf Eisen erscheint der Funke an der Spitze der Feder; da die Drehung rasch geschieht, so ist der Funke eigentlich continuirlich.

2. Glühen von Drähten (Fig. 601); man setzt die Federn 4 und 6 ein, in 1 und 5 die starken Kupferdrähte a b c und d b e, die bei a, d rechtwinklig gebogen sind, um mit diesen kurzen, umgebogenen Enden

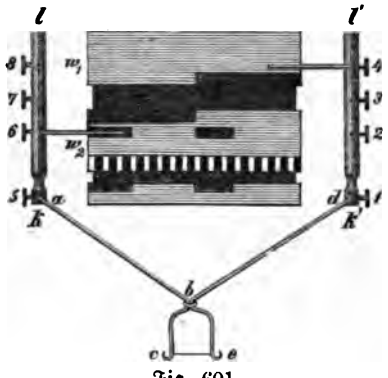


Fig. 601.

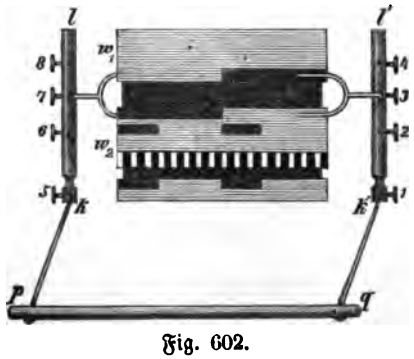


Fig. 602.

in die Bohrungen gesteckt zu werden; bei b werden sie isolirt verbunden, indem man sie hier erst mehrfach mit Seidenfäden umwickelt, dann an einander festbindet; bei c, e bilden die Drähte kleine Häkchen, zwischen welchen ein dünner Platindraht befestigt wird, indem man ihn beiderseits mehremal um das Kupfer wickelt. Der Draht geräth in lebhaftes Glühen. Daß der Strom durch die Verbindung der Leiter k l und k'l' mittelst der Kupfergabel und des Platindrahts c e geschlossen ist, sieht man ein. Auch hier wird der Schließungsstrom ausgeschieden.

3. Erregung von Magnetismus im Eisen (Fig. 602). Hiezu

bedient man sich gabelförmiger Federn, die man in 3 und 7 einsetzt; 3 schleift oben, 7 unten auf den Walzen; wenn der eine Arm auf Eisen schleift, läuft der andere auf Holz. In 1 und 5 werden Kupferdrähte eingesteckt, welche an den Enden so umgebogen sind, daß sie den Eisenstab p q aufnehmen können, welcher, sobald die Maschine gedreht wird, magnetisch erscheint, wie man sich durch eine genäherte Magnetnadel überzeugt. Man erhält hier beide Ströme, aber, da sie genöthigt sind, entgegengesetzte Richtungen einzuschlagen, so hebt sich der Gegensatz ihrer Richtungen auf, sie wirken als gleich gerichtete. Ein mit umsponnenem Draht umwickeltes Hufeisen wird zum Elektromagnet, wenn man die Drahtenden desselben mit den Klemmen 1 und 5 verbindet.

II. Physiologische Stellung.

1. Erschütterungen in lebenden Organismen (Fig. 603). Man setzt die Federn 2, 4 und 6 ein; 2 schleift abwechselnd auf Eisen und

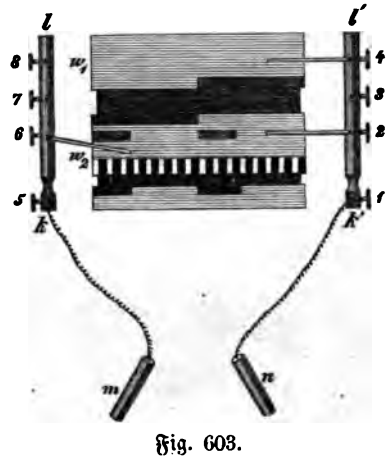


Fig. 603.

Holz, während 4 und 6 fortdauernd auf Eisen schleifen. In 1 und 5 kommen biegsame Drähte mit den Kloben m, n die man fest in die Hände nimmt; oder man legt diese in zwei Gefäße mit Wasser, in welche man dann die Hände eintaucht. Man erhält hier nur den Oeffnungsstrom.

2. Chemische Wirkungen (Fig. 604 und 605). Die Federn sind dieselben, wie bei den magnetischen Wirkungen, nur benutzte man bei diesen die physikalische Stellung des Apparates, während die chemischen Wirkungen durch den Quantitätsstrom (die physiologische Stellung) mehr gefördert werden. Man setzt hiezu die gabelförmigen Federn 3 und 7 ein (Fig. 604); die beiden alternirenden Ströme werden also wieder in gleich gerichtete verwandelt (wie oben bei 3). In das Glasgefäß G wird angesäuertes Wasser gegossen, in dasselbe werden die Glas-

röhren a, b, mit demselben Wasser gefüllt, eingesetzt, endlich werden von den Klemmen 1 und 5 her Kupferdrähte mit Platinelektroden in die umgekehrt gestellten Röhren eingeführt. Man kann sich hiezu recht wohl auch des Wasserzersetzungsapparates (Fig. 566) bedienen. Wie dort, muß der Draht außerhalb der Röhrchen durch einen Siegellacküberzug

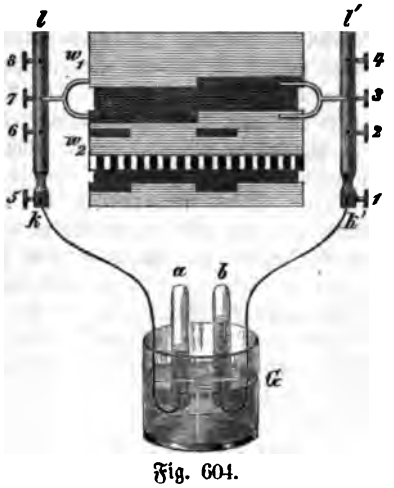


Fig. 604.

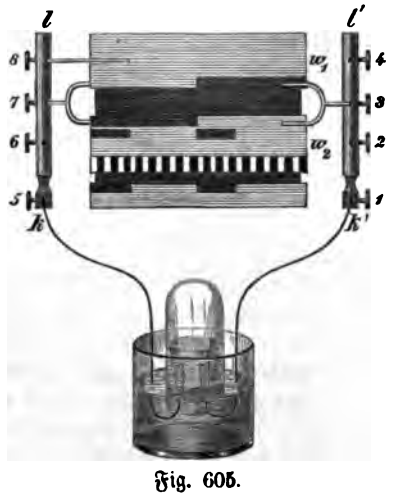


Fig. 605.

isolirt werden. Da der Strom in immer gleicher Richtung durch das Wasser geht, so erhält man die aus dem Wasser sich entwickelnden Gase (Sauerstoff und Wasserstoff) getrennt, wie beim galvanischen Strom.

Setzt man neben denselben gabelförmigen Federn 3 und 7 noch

eine einfache Feder in 4 oder 8 ein (Fig. 605), welche fortdauernd auf Eisen schleift, so geht, wenn der eine Arm der Feder J auf dem Eisen der gegen die Achse isolirten Walze w_1 schleift, ein Arm von 3 aber auf Holz derselben Walze, der Strom von 4 (oder 8) sofort nach dem anderen Arm oder Gabel 7, der auch auf Eisen schleift, zur Walze w_2, von da zur Achse und zurück in die Spiralen. Dieser Strom geht also gar nicht durch das eingeschaltete Wasser. Der Deutlichkeit halber bemerken wir noch, daß ein Arm der Gabel 3 und der entgegengesetzt liegende der Gabel 7 gleichzeitig auf Eisen und nach einer halben Umdrehung wieder gleichzeitig auf Holz schleifen; eben so die beiden anderen Arme derselben Gabeln. Wenn nun zwei solche Arme Metall berühren, der eine auf Walze w_2, der andere auf Walze w_1, so geht der Strom von der isolirten Walze w_1 zur Feder 3, von da zum Wasser, aus dem Wasser nach k l zur Feder 7, nach der mit der Achse leitend verbundenen Walze w_2, also nach der Achse und von da erst nach der Spirale zurück. Bei einer ganzen Umdrehung berührt jeder Arm beider Gabeln einmal Metall und einmal Holz; da aber bei jeder halben Umdrehung jedesmal zwei entgegengesetzte Ströme entstehen, der eine von 0° bis 90°, der andere von 90° bis 180°, so geht bei der ersten Hälfte der Drehung kein Strom durch das Wasser, bei der anderen dagegen beide Ströme; es wird sich also im ersten Viertel der Umdrehung am einen Draht Sauerstoff, im anderen Viertel Wasserstoff entwickeln. Die Gase werden gemengt als Knallgas auftreten. Man wird sie daher in einem einzelnen Cylinder auffangen.

In (Fig. 598) ist auf der Walze w_2 noch eine Zone mit vielen Unterbrechungen, auf der man die Feder 2 gleiten lassen kann, um intensivere Zuckungen hervorzubringen. Die Walze w_3 der Zeichnung, mit den Einsätzen i, ist von Dove für den Extrastrom eingeführt worden. Es würden hiezu noch mehr Seitenständer mit Federeinsätzen erforderlich sein; es liegt dieser Gegenstand aber zu fern, um ihn hier weiter zu verfolgen.

XIX. Rotationsmagnetismus.

Auf der Achse der Centrifugalmaschine befestige man eine kreisförmige, gut geschliffene Kupferplatte A B (Fig. 606) in horizontaler Lage; H mag den Schnurlauf, H J die Schnur der Maschine vorstellen. Daneben setze man einen Ständer M E, welcher bei F in einem Messingkörper, der beliebig verstellt werden kann, die Glasscheibe C D trägt, welche etwas größer ist als die Kupferscheibe; sie wird über dieser, aber ganz nahe daran, aufgestellt. Der Ständer M E trägt oben den mit der Schraube s festzustellenden horizontalen Stab E G; an diesen ist ein Messingkörper G geschraubt, der an einem Häkchen einen ungedrehten Faden trägt, an den man den geraden Magnet N S anhängt. Die Centrifugalmaschine muß mit einer Schraubzwinge an den Tisch befestigt werden. Die nach gewöhnlicher Art gebauten Maschinen taugen

zu diesem, wie zu vielen anderen Versuchen, wo der zu bewegende Körper ziemlich schwer ist, nicht; sie haben nicht die nöthige Festigkeit. Bringt man den Magnet ganz nahe an die Glasscheibe und setzt die Kupferplatte in Bewegung, so folgt der Magnet bald dieser Rotation, dreht sich in derselben Richtung. Die Glasscheibe dient blos dazu, die durch die rotirende Scheibe veranlaßten Luftschwingungen vom Magnet fern

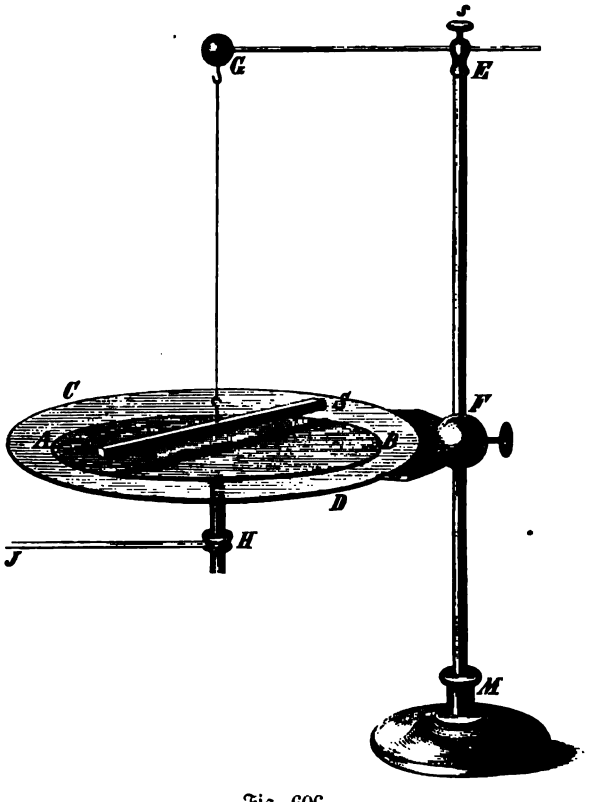


Fig. 606.

zu halten. Da die Kupferplatte nur dünn ist, sie wird nicht über 2 mm stark sein, so kann sie nicht wohl auf die Achse der Centrifugalmaschine aufgeschraubt werden, man muß sich damit begnügen, auf die Achse einen cylindrischen, oder schwach konisch abgedrehten Körper aufzuschrauben und die Kupferplatte darauf aufzuzwängen; aber gewöhnlich macht sie sich während des Drehens los, weil die Reibung nicht stark genug ist. Um dies zu verhindern, schraube man auf die Achse der Centrifugalmaschine den Körper A B (Fig 607) auf; die Zeichnung stellt einen

Durchschnitt des Ganzen dar, wovon (Fig. 608) der Grundriß ist; x ist ein Cylinder, neben dem der Stift y, dicht daran anliegend, auf dem vorstehenden Rand feststeht. In die hier aufzulegende Platte wird ein Loch gebohrt, in das der Cylinder x genau paßt; am Rande der Bohrung wird ein Einschnitt gemacht, der den Stift y aufzunehmen vermag, aber auch nicht weiter ist: in (Fig. 609) sieht man diesen Einschnitt deutlich. So aufgesteckt, wird die Platte während der Drehung fest liegen bleiben.

Dreht man die Scheibe, so setzt sich der Magnet in derselben Richtung in Rotation. Dreht man die Platte, nachdem sie in der ersten Richtung in Bewegung gesetzt worden, in entgegengesetzter Richtung, so

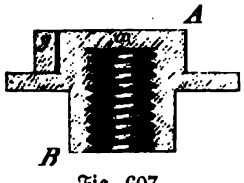


Fig. 607.

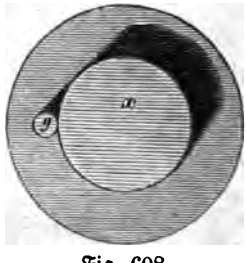


Fig. 608.

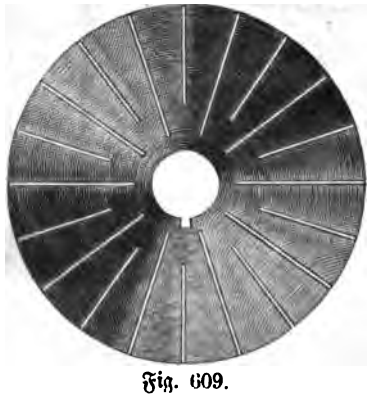


Fig. 609.

fährt zwar der Magnet Anfangs noch fort, sich in der vorigen Richtung zu bewegen, aber seine Geschwindigkeit nimmt sichtlich ab, er kommt zuletzt in Ruhe und fängt sofort an, sich in der jetzigen Richtung der Scheibe zu drehen, erst langsam, dann immer schneller und schneller. Wenn man den Faden, woran der Magnet hängt, verkürzt, so daß der Magnet entfernter von der Scheibe wird, so folgt er zwar auch nach der sich drehenden Scheibe, aber viel langsamer. Die Einwirkung der rotirenden Scheibe auf den Magnet nimmt also mit zunehmender Entfernung ab.

Eine durch radiale Einschnitte in Sectoren getheilte Scheibe, wie (Fig. 609) zeigt zwar dieselben Erscheinungen noch, aber viel schwächer. Eine Zinkscheibe, die die Elektricität weniger leitet als Kupfer, wirkt ebenso, jedoch viel schwächer.

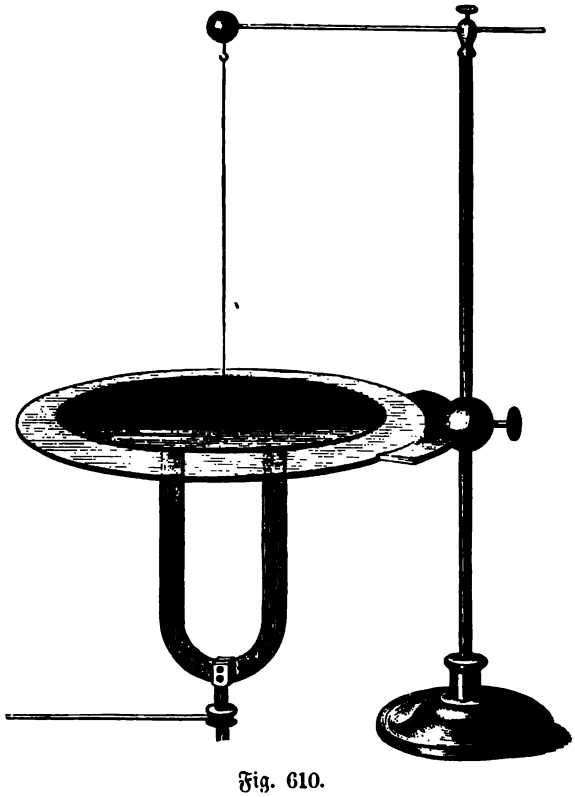


Fig. 610.

Auf eine recht feste Centrifugalmaschine setze man einen Hufeisenmagnet so auf, daß seine Pole nach Oben gerichtet sind (Fig. 610), setze an dem oben beschriebenen Stativ die Glasscheibe darüber und hänge die Kupferplatte, die hier im Centrum mit einem Häkchen versehen sein muß, an einem Bündel ungedrehter Fäden dicht darüber. Versetzt man dann den Magnet in drehende Bewegung, so folgt ihm die Scheibe, diese dreht sich nach derselben Richtung.

Druck von Bär & Hermann in Leipzig.

Druckfehler.

Seite	9	Zeile	3 v. o. l. „in dem" ſt. „indem".
„	10	„	12 v. u. hinter anbringen iſt ein „," ſt. „." zu ſetzen.
„	24	„	12 v. u. l. „Rohr r " ſt. „Rohr".
„	29	„	2 v. o. l. „in" ſt. „im".
„	34	„	2 v. o. l. „Glasſtöpſel" ſt. „Glasſtöpſeln".
„	40	„	15 v. u. l. „Kupfercylinder".
„	41	„	18 v. o. l. „einen" ſt. „einem".
„	62	„	14 v. o. l. „die zu" ſt. „die".
„	64	„	13 v. u. l. „dieſe" ſt. „ſie".
„	93	„	9 v. o. l. „$r^2\pi$ q. mm." ſt. „$r^2\pi$ q. mm."
„	98	„	13 v. u. l. „Elfenbeinkugel o."
„	106	„	15 v. o. l. „Rolle" ſt. „Stelle."
„	117	„	8 v. o. l. „111" ſt. „110."
„	—	„	20 v. o. iſt „(Fig. 112)" zu ſtreichen.
„	—	„	21 v. o. l. „k (Fig. 112)" ſt. „K."
„	118	„	19 v. u. l. „FF (Fig. 111)" ſt. „FF."
„	125	„	3 v. u. l. „nach Unten" ſt. „nach".
„	161	„	2 v. u. l. „Flüſſigkeiten."
„	163	„	9 u. 10 v. u. iſt der Satz von „und" bis „s" zu ſtreichen.
„	163	„	5 v. u. iſt „mit Schale" zu ſtreichen.
„	170	„	12 v. u. l. „ein Gewicht" ſt. „Gewicht."
„	171	„	11 v. u. l. „faſt ganz" ſt. „ganz."
„	187	„	2 v. o. l. „der" ſt. „das"
„	197	„	13 v. o. l. „über" ſt. „unter."
„	203	„	1 v. o. iſt „in" zu ſtreichen.
„	204	„	6 v. u. iſt „beiden" zu ſtreichen.
„	207	„	6 v. u. l. „befindliche" ſt. „befindlichen."
„	224	„	13 v. o. l. „radial" ſt. „radical."
„	234	„	7 v. o. l. „denſelben" ſt. „derſelben."
„	—	„	8 v. o. iſt „wird" zu ſtreichen.
„	268	„	12 v. o. l. „der" ſt. „den."
„	277	„	12 13 u. 16 v. u. l. „T" ſt. „F."
„	289	„	13 v. o. l. „K" ſt. „k".
„	294	„	9 v. o. l. „Heliostaten."
„	298	„	7 v. o. l. „Schiene" ſt. „Schienen."
„	308	„	4 v. u. l. „durchſichtig" ſt. „undurchſichtig."
„	310	„	18 v. o. hinter „k" ſetze „;".
„	—	„	2 v. u. iſt „2" zu ſtreichen.
„	315	„	6 v. u. l. „p'" ſt. „q'".
„	319	„	8 v. u. hinter „Spaltplatte" ſetze „,".
„	321	„	12 v. u. l. „Prismas".
„	324	„	11 v. o. l. „qs')".
„	326	„	9 v. u. l. „AA'" ſt. „AA."
„	336	„	14 v. u. l. „möglichſt."
„	—	„	6 v. u. l. „bD" ſt. „b'D."
„	337	„	14 v. u. l. „13 mm, 87" ſt. „23 mm, 87."
„	345	„	12 v. u. hinter „Weitſichtige" füge hinzu: „das andere ein Concavglas, wie die Brillen für Kurzſichtige."
„	347	„	7 v. u. l. „den" ſt. „dem."
„	348	„	14 v. u. l. „(Fig. 365)" ſt. (Fig. 364)."
„	—	„	11 v. u. l. „(Fig. 364)" ſt. „(Fig. 365)."
„	350	„	12 v. o. l. „366" ſt. „367"
„	—	„	13 v. o. l. „367" ſt. „366."
„	352	„	6 v. o. l. „Stampfer" ſt. „Stampher.
„	353	„	20 v. o. iſt „um" zu ſtreichen.
„	359	„	23 v. u. l. „getheiliten" ſt. „getheilte."

Druck von Bär & Hermann in Leipzig.

Druckfehler.

Seite	9	Zeile	3 v. o.	l. „in dem“ ſt. „indem“.
„	10	„	12 v. u.	hinter anbringen iſt ein „,“ ſt. „.“ zu ſetzen.
„	24	„	12 v. u.	l. „Rohr r “ ſt. „Rohr“.
„	29	„	2 v. o.	l. „in“ ſt. „im“.
„	34	„	2 v. o.	l. „Glasſtöpſel“ ſt. „Glasſtöpſeln“.
„	40	„	15 v. u.	l. „Kupfercylinder“.
„	41	„	18 v. o.	l. „einen“ ſt. „einem“.
„	62	„	14 v. o.	l. „die zu“ ſt. „die“.
„	64	„	13 v. u.	l. „dieſe“ ſt. „ſie“.
„	93	„	9 v. o.	l. „$r^2\pi$ q. mm.“ ſt. „$r^2\pi$ q. mm.“
„	96	„	13 v. u.	l. „Elfenbeinkugel o.“
„	106	„	15 v. o.	l. „Rolle“ ſt. „Stelle.“
„	117	„	8 v. o.	l. „111“ ſt. „110.“
„	—	„	20 v. o.	iſt „(Fig. 112)“ zu ſtreichen.
„	—	„	21 v. o.	l. „k (Fig. 112)“ ſt. „K.“
„	118	„	19 v. u.	l. „FF (Fig. 111)“ ſt. „FF.“
„	125	„	3 v. u.	l. „nach Unten“ ſt. „nach“.
„	161	„	2 v. u.	l. „Flüſſigkeiten.“
„	163	„	9 u. 10 v. u.	iſt der Satz von „und“ bis „s“ zu ſtreichen.
„	163	„	5 v. u.	iſt „mit Schale“ zu ſtreichen.
„	170	„	12 v. u.	l. „ein Gewicht“ ſt. „Gewicht.“
„	171	„	11 v. u.	l. „faſt ganz“ ſt. „ganz.“
„	187	„	2 v. o.	l. „der“ ſt. „das“
„	197	„	13 v. o.	l. „über“ ſt. „unter.“
„	203	„	1 v. o.	iſt „in“ zu ſtreichen.
„	204	„	6 v. u.	iſt „beiden“ zu ſtreichen.
„	207	„	6 v. u.	l. „befindliche“ ſt. „befindlichen.“
„	224	„	13 v. o.	l. „radial“ ſt. „radical.“
„	234	„	7 v. o.	l. „denſelben“ ſt. „derſelben.“
„	—	„	8 v. o.	iſt „wird“ zu ſtreichen.
„	268	„	12 v. o.	l. „der“ ſt. „den.“
„	277	„	12 13 u. 16 v. u.	l. „T“ ſt. „F.“
„	289	„	13 v. o.	l. „K“ ſt. „k“.
„	294	„	9 v. o.	l. „Heliofaten.“
„	298	„	7 v. o.	l. „Schiene“ ſt. „Schienen.“
„	308	„	4 v. u.	l. „durchſichtig“ ſt. „undurchſichtig.“
„	310	„	18 v. o.	hinter „k“ ſetze „‘“.
„	—	„	2 v. u.	iſt „2“ zu ſtreichen.
„	315	„	6 v. u.	l. „p‘“ ſt. „q‘“.
„	319	„	8 v. u.	hinter „Spaltplatte“ ſetze „,“.
„	321	„	12 v. u.	l. „Prismas“.
„	324	„	11 v. o.	l. „as‘)“.
„	326	„	9 v. u.	l. „AA‘“ ſt. „AA.“
„	336	„	14 v. u.	l. „möglichſt.“
„	—	„	6 v. u.	l. „bD“ ſt. „b‘D.“
„	337	„	14 v. u.	l. „13 mm, 87“ ſt. „23 mm, 87.“
„	345	„	12 v. u.	hinter „Weitſichtige“ füge hinzu: „das andere ein Concavglas, wie die Brillen für Kurzſichtige.“
„	347	„	7 v. u.	l. „den“ ſt. „dem.“
„	348	„	14 v. u.	l. „(Fig. 365)“ ſt. (Fig. 364).“
„	—	„	11 v. u.	l. „(Fig. 364)“ ſt. „(Fig. 365).“
„	350	„	12 v. o.	l. „366“ ſt. „367“
„	—	„	13 v. o.	l. „367“ ſt. „366.“
„	352	„	6 v. o.	l. „Stampfer“ ſt. „Stampher.
„	353	„	20 v. o.	iſt „um“ zu ſtreichen.
„	359	„	23 v. u.	l. „getheilten“ ſt. „getheilte.“

Seite	381	Zeile	1 v. o.	ist „e“ zu streichen.
„	384	„	8 v. u.	l. „101“ st. „10.“
„	387	„	11 v. u.	Die Numern der Fig. 407 u. 408 sind mit einander zu vertaus
„	396	„	26 v. u.	„Beachtung“ st. „Beobachtung.“
„	399	„	5 v. o.	l. „dem“ st. „den.“
„	405	„	7 v. u	ist das Comma zu streichen.
„	411	„	24 v. u.	l. „Der“ st. „Den.“
„	412	„	19 v. u.	l. „daß“ st. „das“
„	423	„	22 v. u.	l. „müßte“ st. „mußte.“
„	448	„	8 v. u.	l. „einen kleinen“ st. „ein kleiner.“
„	456	„	16 v. u.	l. „des“ st. „der.“
„	460	„	11 v. u.	l. „w^2“ st. „n^2.“
„	463	„	8 v. u	l. „Eisenstück“ st. „Rechteck.“
„	465	„	11 v. o.	l. „der magnetischen Abweichung st. des magnetischen Meridians
„	471	„	5 v. o.	l. „360°“ st. „160°.“
„	472	„	6 v. u.	l. „sin“ st. „sn“
„	486	„	6 v. u.	l. „Glasscheibe“ st. „Glasscheiben.“
„	489	„	7 v. o.	l. „erwärmtem.“
„	492	„	18 v. o.	hinter „m“ füge „(Fig. 507)“ hinzu.
„	497	„	16 v. o.	l. „e“ st. „c.“
„	506	„	19 v. u.	l. „ans“ st. „aus.“
„	509	„	3 v. u.	l. „innen“ st. „immer.“
„	512	„	19 v. o.	l. „vor“ st. „von.“
„	525	„	23 v. u.	l. „Gasfabriken“ st. „Glasfabriken.“
„	545	„	8 v. o.	l. „XVIII“ st. „XXIII.“
„	576	„	7 v. u.	l. „benutzt“ st. „benutzte.“

In den Figuren sind noch folgende Verbesserungen anzubringen:

Figur	189	l. „s‴“ st. „b‴“.
„	190a	sind a und b mit einander zu vertauschen.
„	323	müßte so gestellt werden, daß der Beobachter die Seite, wo C steht, vor sich h
„		Ziffern der Gradtheilung aufrecht ständen.
„	352	fehlt der Buchstabe o, der den zweiten Schenkel des Winkels bezeichnen soll, w
		der erste ist; der Winkel ist der der Platten me und ng.
„	371	u. 372 müßten umgekehrt stehen.
„	394	u. 395 sind irrthümlich mit 384 u. 385 beziffert.
„	406	links von „b“ setze „b‴“.
„	407	u. 408 müssen mit einander vertauscht werden.